



オルソポジトロニウムの寿命測定

伊東 利将 落合 信治 神野 朝之丞 鳥羽 修平 ホッジルネ 倫

目次

1. 実験の目的
2. 理論
3. 実験1～セットアップ～
4. 実験2～回路～
5. 解析1～TQ補正～
6. 解析2～pick-off補正～
7. 結果と考察

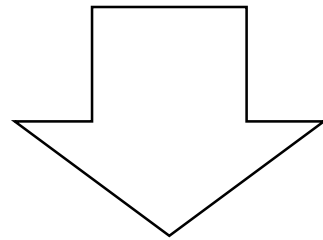
1. 実験の目的

量子電磁気学の追求

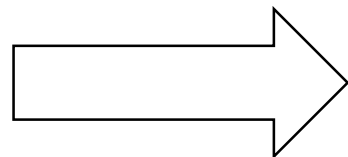


実験の目的

- 世界で初めて量子化されたのは電磁場(光量子仮説)
- QEDで電子の磁気能率は1.3兆分の1の精度で計算されている
- 実験でも電磁相互作用するものを基本的に測定に使っている



QEDの正しさを実験的に示そう



Psの寿命測定

2.理論

o-Psの寿命の理論的導出

Psを考える前に

- QEDのラグランジアン密度 \mathcal{L}

$$\mathcal{L} = \bar{\psi}(i\not{D} - m)\psi - \frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}$$

- 電磁場の量子化(Coulombゲージ) $A^\mu(\mathbf{x})$

$$A^\mu(\mathbf{x}) = \int \frac{d^3\mathbf{p}}{(2\pi)^3} \frac{1}{\sqrt{2E_p}} \sum_r \left(a_{r,p} \varepsilon_{r,p}^\mu e^{-ip \cdot x} + a_{r,p}^\dagger \varepsilon_{r,p}^{*\mu} e^{ip \cdot x} \right)$$

生成消滅演算子と荷電共役変換

- 荷電共役変換 C で生成消滅演算子は符号を変える。即ち

$$Ca_{r,p}C = -a_{r,p}$$

$$Ca_{r,p}^\dagger C = -a_{r,p}^\dagger$$

※ C はユニタリであることに注意

$$※D_\mu = \partial_\mu - ieA_\mu$$

o-Ps と p-Ps

- o-Ps (トリプレット状態) $|o - Ps\rangle$

$$\begin{cases} |\uparrow\rangle_+ \otimes |\uparrow\rangle_- \\ \frac{1}{\sqrt{2}} (|\uparrow\rangle_+ \otimes |\downarrow\rangle_- + |\downarrow\rangle_+ \otimes |\uparrow\rangle_-) \\ |\downarrow\rangle_+ \otimes |\downarrow\rangle_- \end{cases}$$

- p-Ps (シングレット状態) $|p - Ps\rangle$

$$\begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} (|\uparrow\rangle_+ \otimes |\downarrow\rangle_- - |\downarrow\rangle_+ \otimes |\uparrow\rangle_-) \end{cases}$$

o- P_s の荷電パリティの導出例

$$\begin{aligned} C(|\uparrow\rangle_+ \otimes |\uparrow\rangle_-) &= C(b^\dagger d^\dagger |0\rangle) \\ &= d^\dagger b^\dagger |0\rangle \\ &= -b^\dagger d^\dagger |0\rangle \\ &= -|\uparrow\rangle_+ \otimes |\uparrow\rangle_- \end{aligned}$$

- 同様にしてo- P_s の荷電パリティの固有値は-1、p- P_s の荷電パリティは1であることが分かる

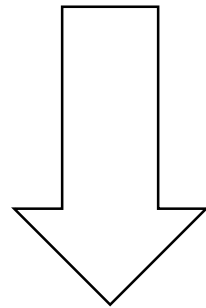
0-Psとp-Psの崩壊

- 0-Psは奇数フォトン系に崩壊
- p-Psは偶数フォトン系に崩壊

※電磁場の生成消滅演算子は荷電共役変換で符号を変えるので、 $A^\mu(\boldsymbol{x})$ も符号を変えることからわかる

エネルギー・運動量保存と微細構造定数

- エネルギー・運動量保存から 1γ に崩壊することはない。
- フォトンが一つ増えると崩壊確率が微細構造定数倍小さくなる。



- p- P_s は 2γ に崩壊
- o- P_s は 3γ に崩壊

Dirac表示における時間発展演算子

Dirac表示において時間発展演算子 $U_I(t, t_0)$ は

$$|\psi(t)\rangle_I = U_I(t, t_0)|\psi(t_0)\rangle_I$$

より、Schrödinger方程式を用いて、微分方程式

$$i \frac{\partial U_I(t, t_0)}{\partial t} = H_{\text{int}}(t)U_I(t, t_0)$$

を満たすことが分かる。

ここで、 $H_{\text{int}}(t)$ はハミルトニアンの相互作用項。

S行列の定義

先の微分方程式を解くと

$$U_I(t, t_0) = T e^{-i \int_{t_0}^t ds H_{\text{int}}(s)}$$

$S = U_I(\infty, -\infty)$ を定義するとS行列 $S_{fi} = \langle f | S | i \rangle$ を用いて次のような議論を行う

不変散乱振幅 \mathcal{M}_{fi} とS行列

4元運動量保存より

$$\langle f|S|i\rangle = i(2\pi)^4 \delta^{(4)}(P_f - P_i) \mathcal{M}_{fi}$$

が分かる

すると、 $S_{fi} = |\langle f|S|i\rangle|^2 = |(2\pi)^4 \delta^{(4)}(P_f - P_i) \mathcal{M}_{fi}|^2$ で

$$\begin{aligned} & (2\pi)^4 \delta^{(4)}(P_f - P_i) (2\pi)^4 \delta^{(4)}(P_f - P_i) \\ = & (2\pi)^4 \delta^{(4)}(P_f - P_i) (2\pi)^4 \delta^{(4)}(0) \\ = & (2\pi)^4 \delta^{(4)}(P_f - P_i) [VT] \end{aligned}$$

寿命に関する微分方程式

先の \mathcal{M}_{fi} を用いて崩壊確率 Γ に関して時間スケール T において

$$\frac{1}{T} \frac{d\Gamma}{d\Omega} = \frac{|\mathbf{k}|}{32\pi^2 m^2} |\mathcal{M}_{fi}|^2$$

が終状態が2体の場合に成り立つことが知られている

これより積分によって $\frac{\Gamma}{T}$ を求め、許される終状態について足し上げると全崩壊幅が得られ、その逆数が寿命となる

p-Psとo-Psの寿命

- p-Psの寿命:約0.12ns
- o-Psの寿命:約140ns
- ※o-Psの方がp-Psより非常に寿命が長いことは、p-Psが 2γ に崩壊するのに対しo-Psが 3γ に崩壊するので微細構造定数の逆数倍だけ寿命が大きくなること等によって簡単には説明される。

3.実験1～セットアップ～

寿命測定のための実験の詳細



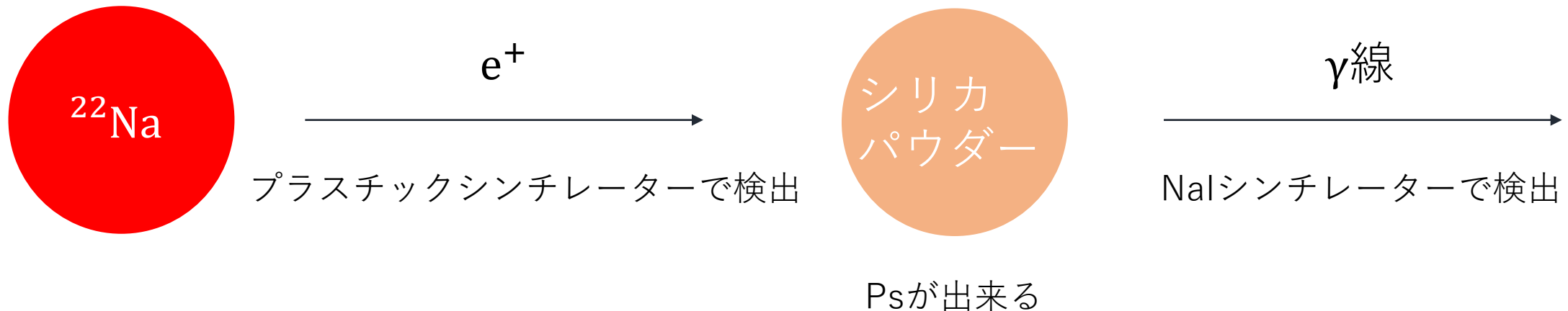
実験原理

^{22}Na の β^+ 崩壊により放出される e^+ にシリカパウダーによって e^- を与えてポジトロニウムを形成する。

これが崩壊すると γ 線を発する。 よって、

(γ 線を検出した時間)-(e^+ が放出された時間)

をポジトロニウムの寿命と考えることによって、 $o\text{-Ps}$ の寿命を測定する。



実験器具

- ^{22}Na

β^+ 崩壊により e^+ を放出する線源

- プラスチックシンチレーター(以下P.S.)

e^+ が通過した時に信号を出す

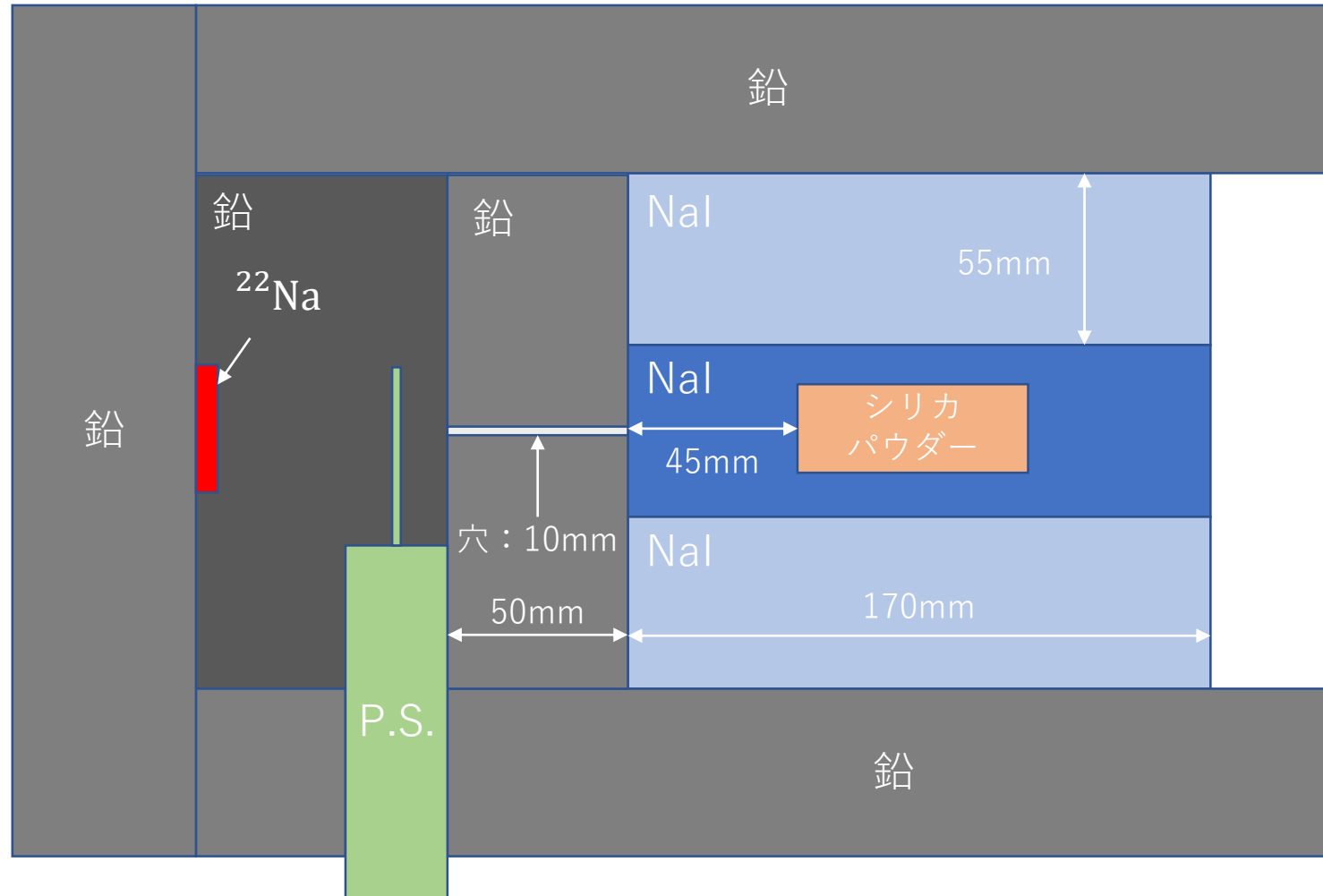
- NaIシンチレーター(以下NaI)

γ 線を検出する

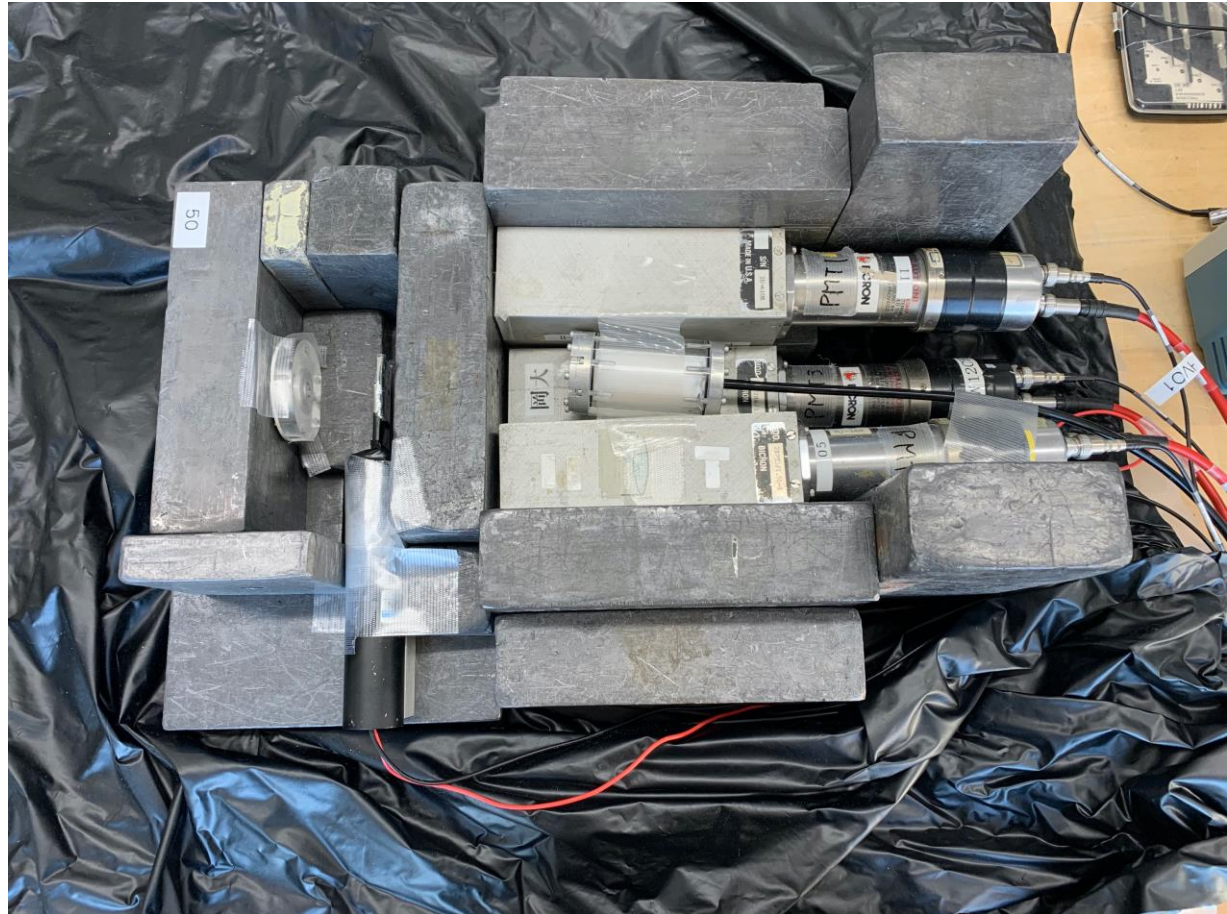
実験器具

- シリカパウダー（主成分 SiO_2 ）
 SiO_2 は構造上 e^- を多く含み、 e^+ に e^- を与えることができる。
- 鉛ブロック
 ^{22}Na から直接放出される γ 線がNaIに入らないようにNaIの周りを覆う
- 遮光用ビニール
P.S.に室内の光などが入り e^+ の検出ができなくなるのを防ぐため装置全体を覆う

セットアップの模式図



セットアップの写真



セットアップの写真



4.実験2～回路～

実験に用いた回路の詳細



目的

Psの寿命を測定したい

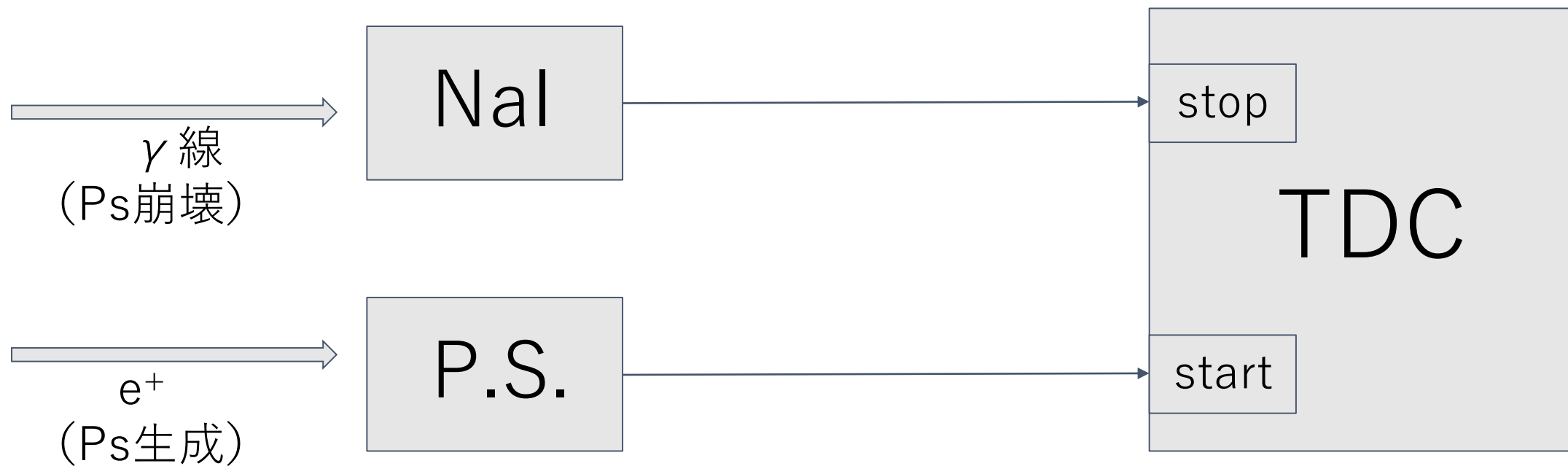
P.S.が e^+ 感知 : Ps生成時刻

NaIが γ 線感知 : Ps崩壊時刻

として、この時刻の差を測れる回路を組む

回路案

まず第一に思いつくのは以下のような回路。



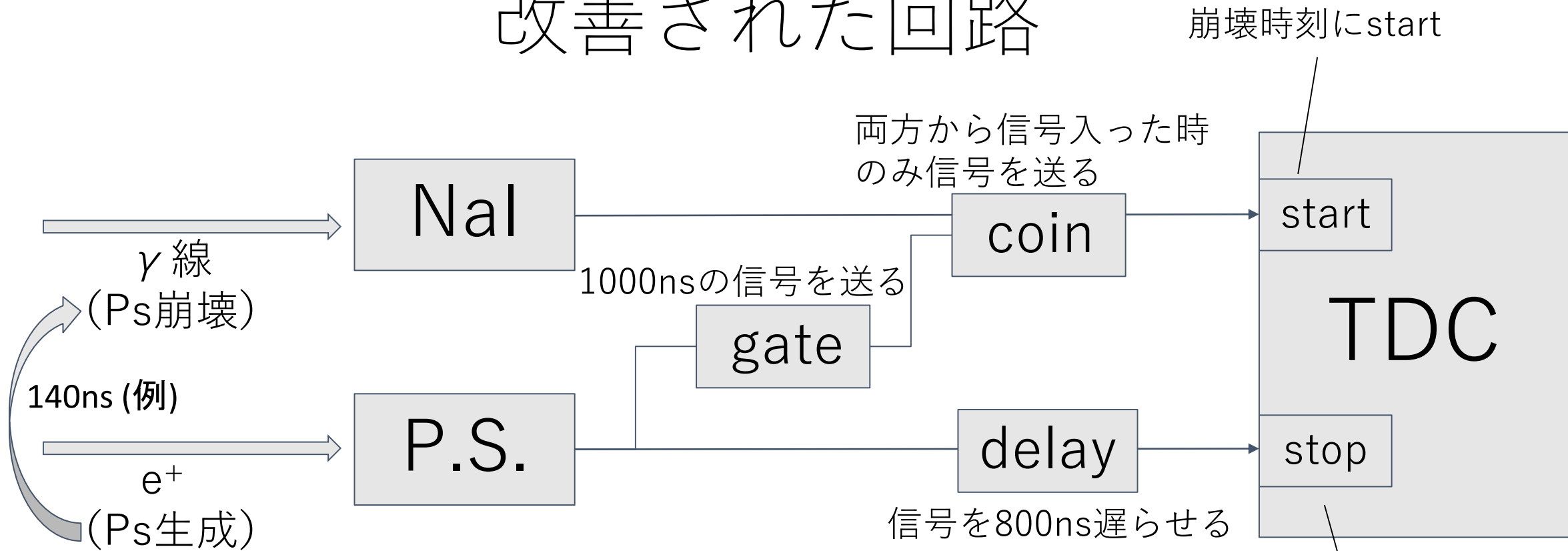
問題点

Ps生成に無関係な γ 線が生じたり、 e^+ が通過してもPsを生成しなかったりすることがあるが、P.S.はこれも感知してしまう

この時、P.S.でstartの信号が送られてしまうがPsは生成されていないのでPs崩壊によるstop信号は送られず、その後Psが生成され崩壊する時にやっとstop信号が送られ、無意味な時間を記録してしまう

よって、P.S. , NaIのどちらもが感知した時のみstart信号を送るようにしたい

改善された回路



* 時間経過 (例)

t=0ns : Ps生成

t=140ns : Ps崩壊, start信号

t=800ns : stop信号

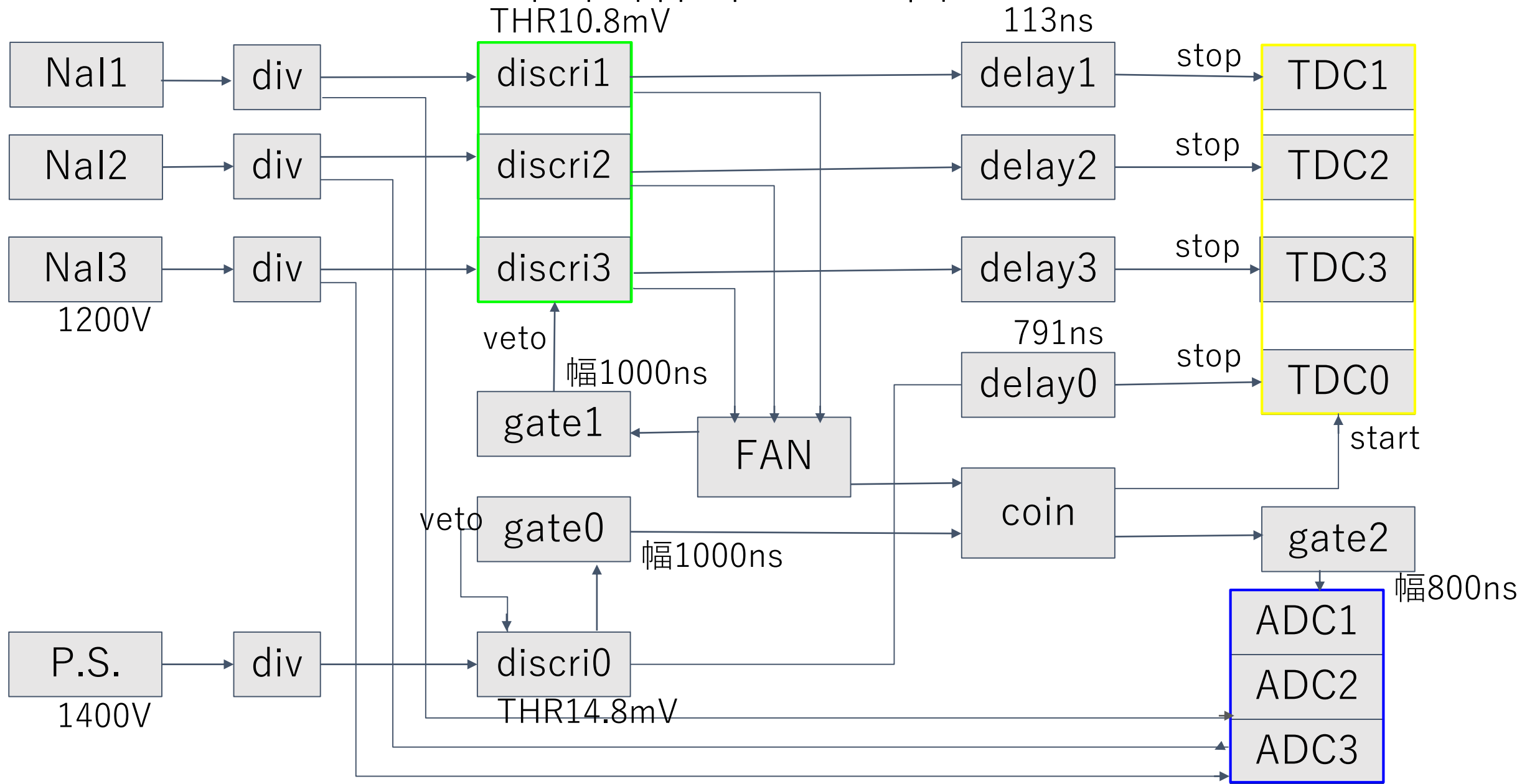
→TDCは「660ns」と測定する

$$800\text{ns} - 660\text{ns} = 140\text{ns}$$

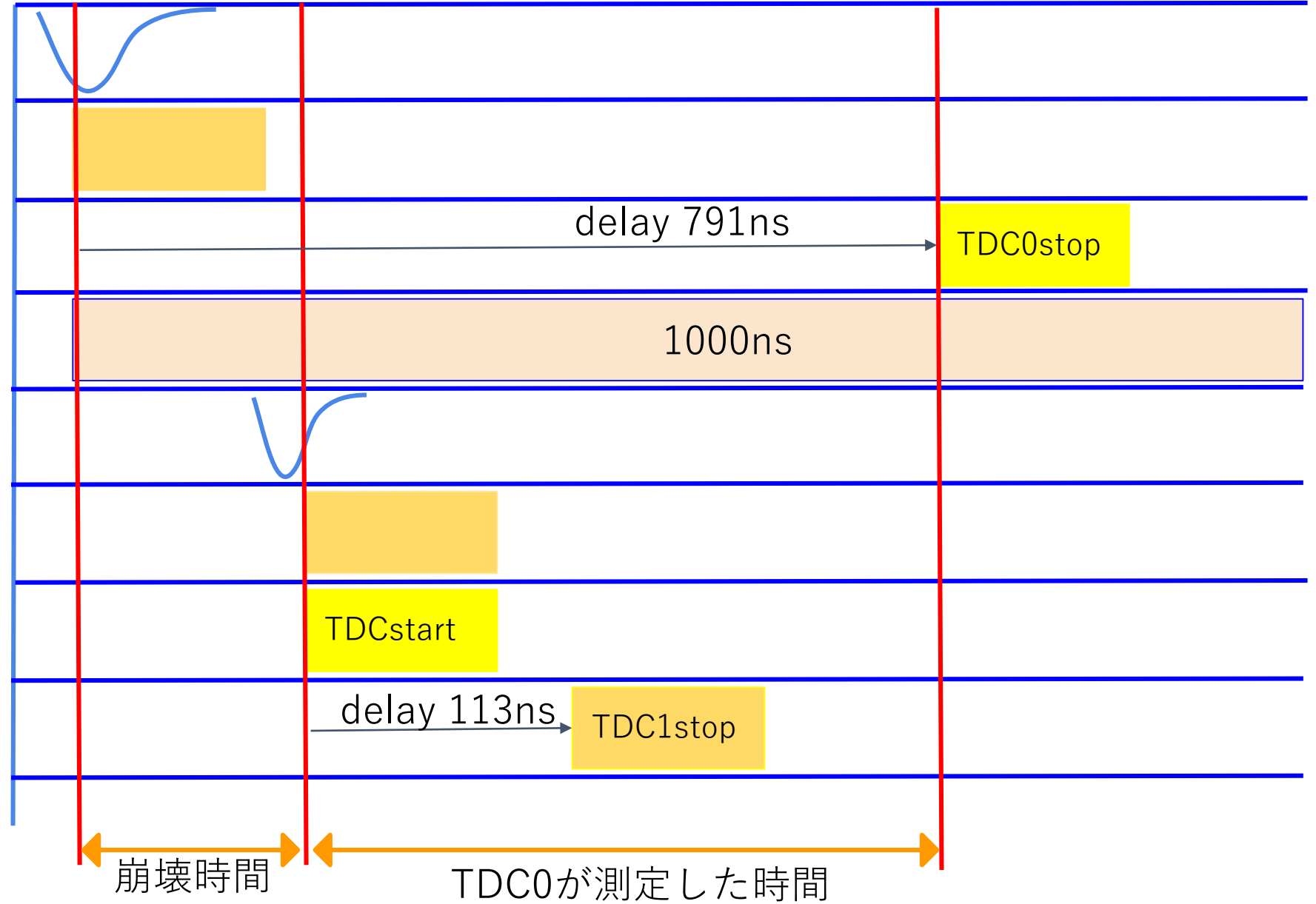
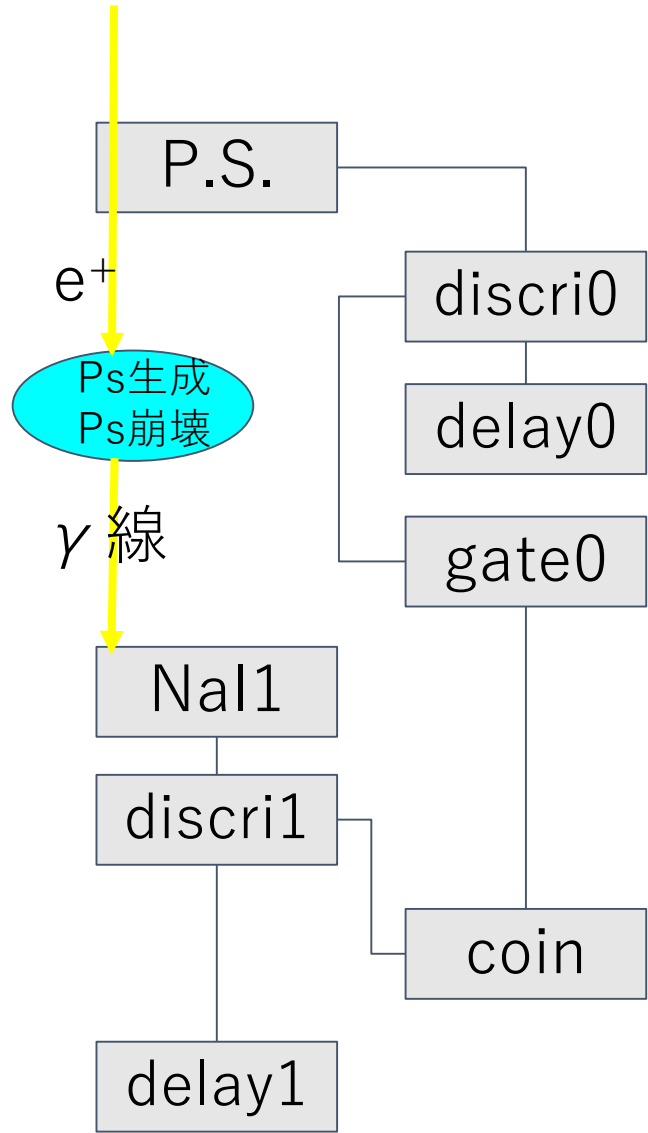
と寿命が求まる

生成時刻+800ns にstop

回路図の全容

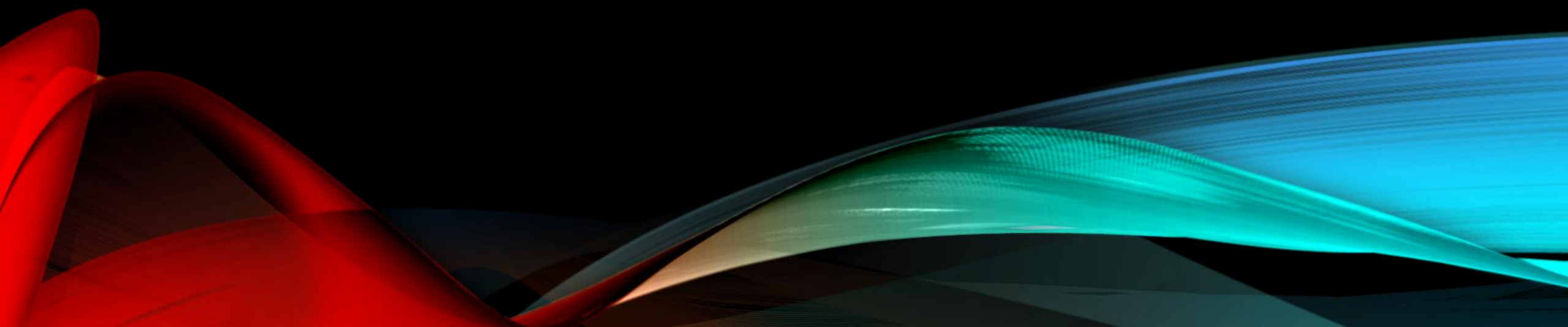


信号の概念図



5.解析1

較正とTQ補正



使用するデータ

- 前半データ

2020/2/10~2020/2/25 1,529,653イベント

P.S. - 線源間距離3cm

- 後半データ

2020/2/25~2020/3/23 635,653イベント

P.S. - 線源間距離5cm ←前半ADC2のデータが変だったため

較正 - TDC

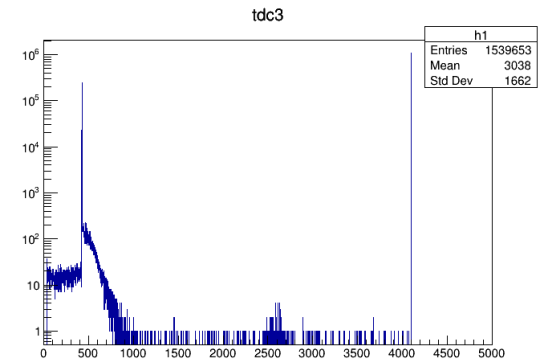
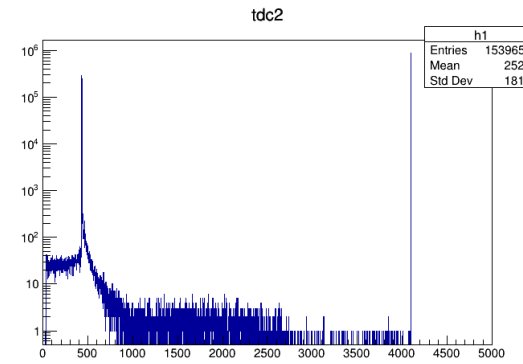
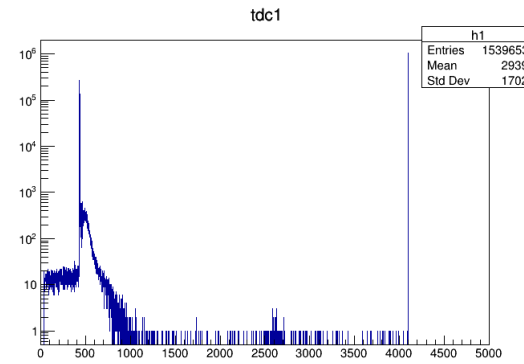
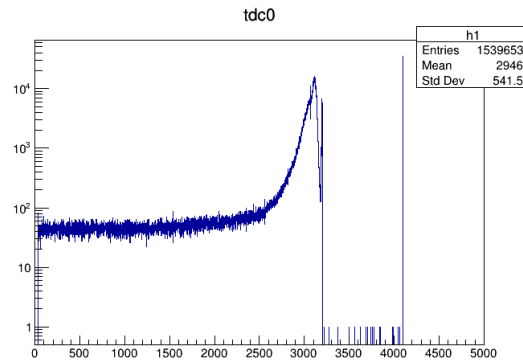
CH0

CH1

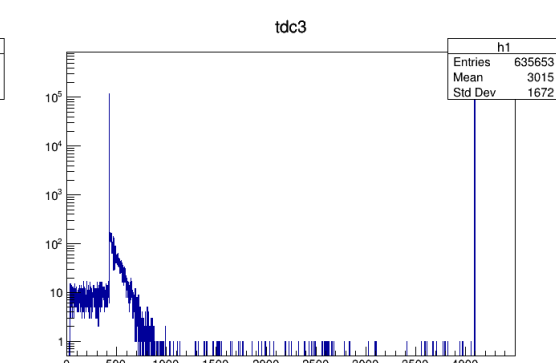
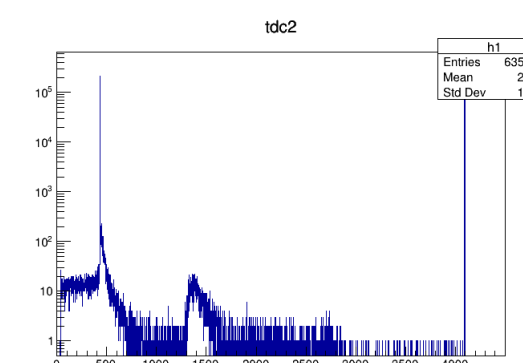
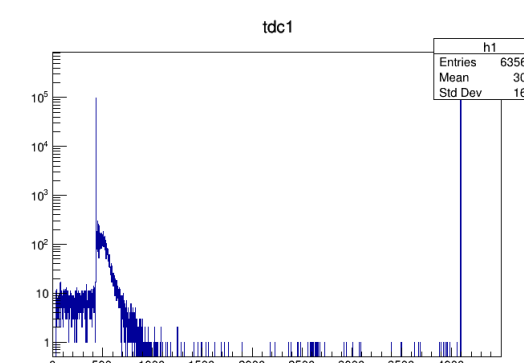
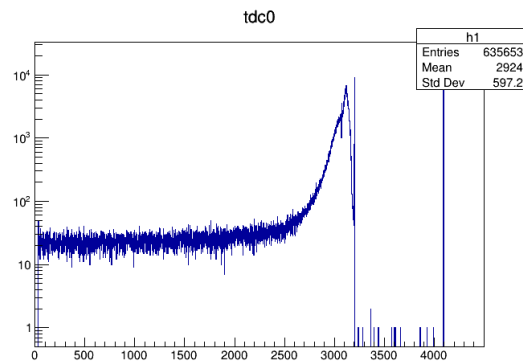
CH2

CH3

前半



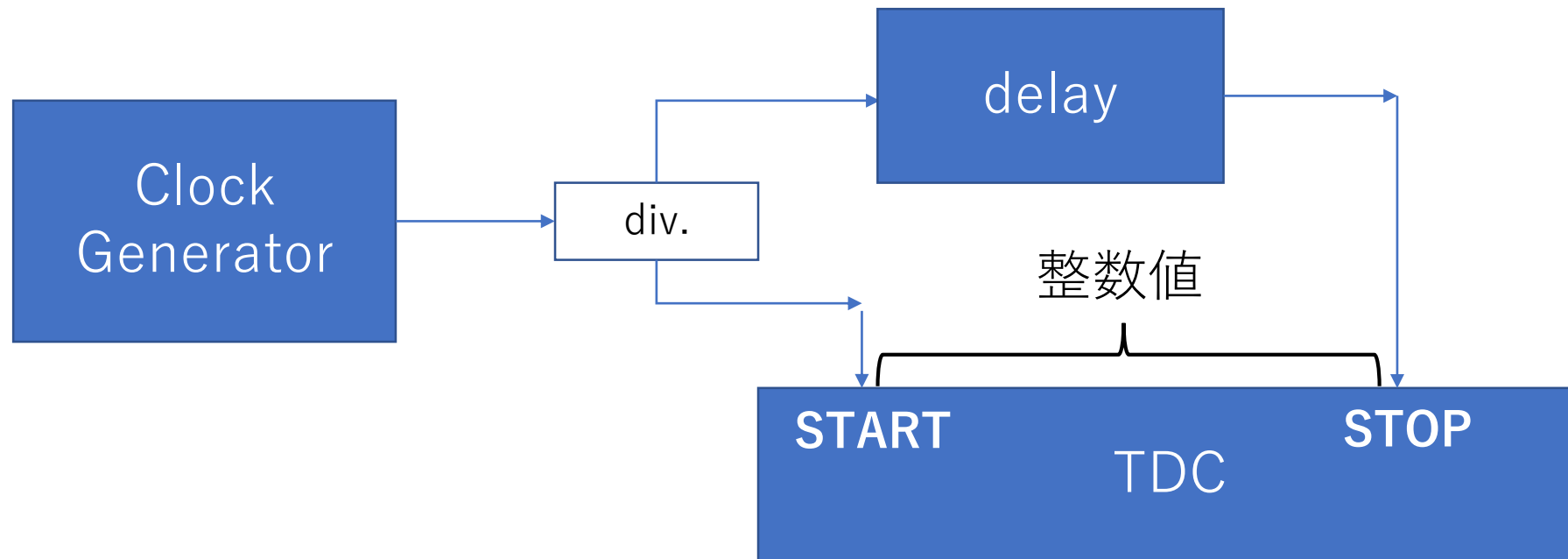
後半



横軸はTDC値、縦軸はイベント数の対数

較正 - TDC

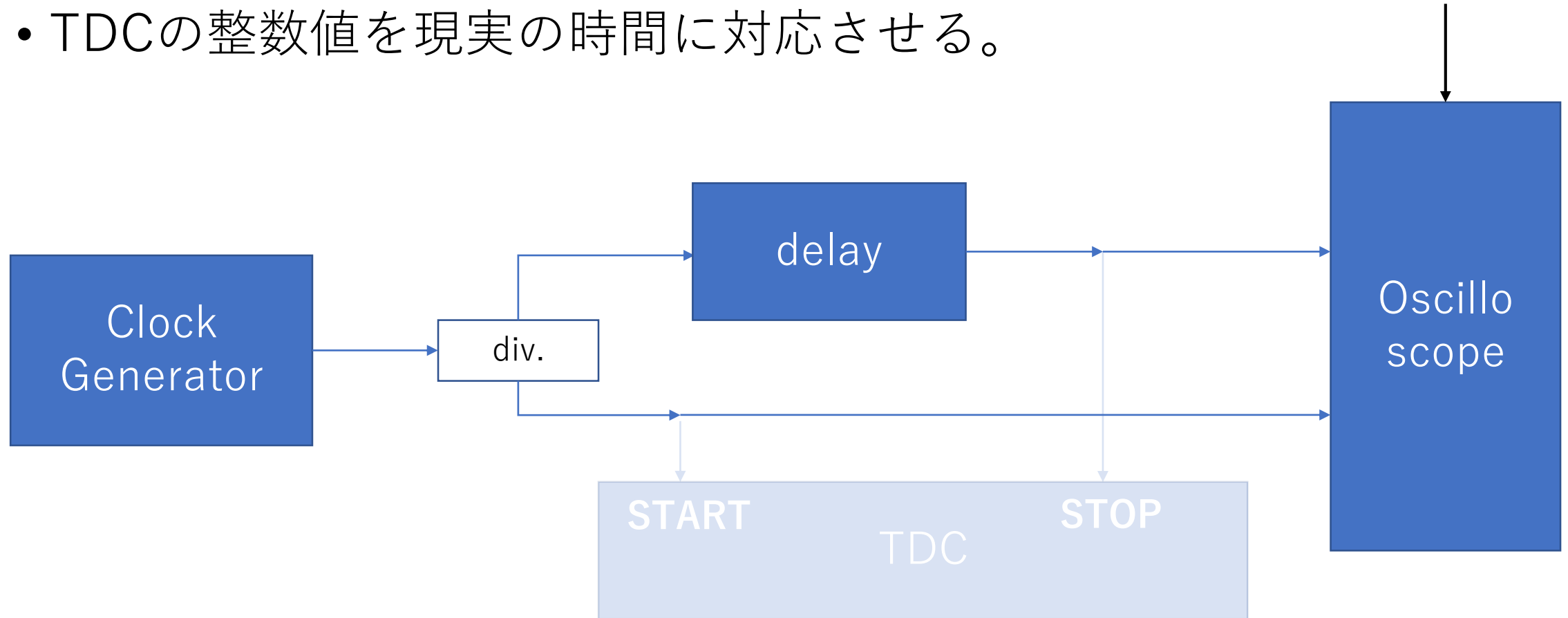
- TDCの整数値を現実の時間に対応させる。



較正 - TDC

- TDCの整数値を現実の時間に対応させる。

目視で時間差を測定

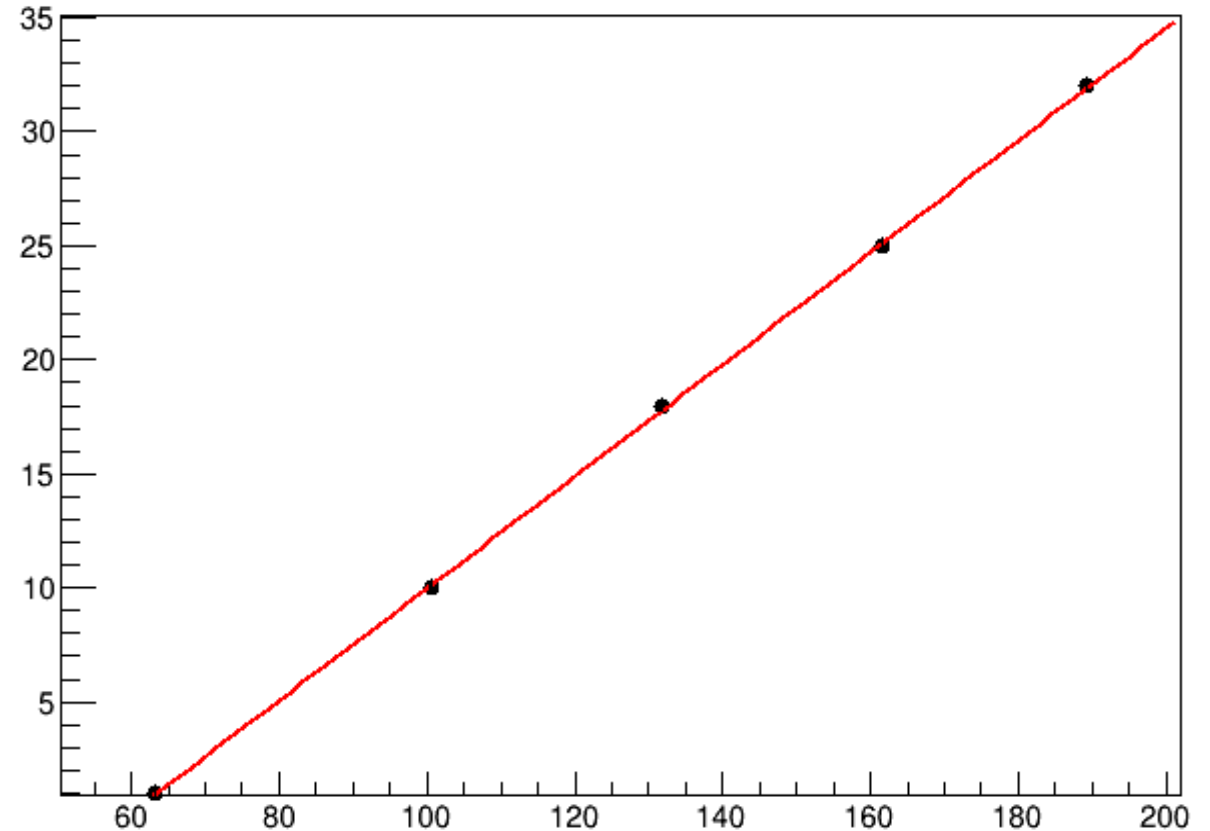


較正 - TDC

横軸は遅延[ns]、縦軸はTDC値

遅延[ns]	TDC値
1	$6.32 \times 10^2 \pm 1.48 \times 10^{-2}$
10	$1.01 \times 10^2 \pm 1.86 \times 10^{-2}$
18	$1.32 \times 10^2 \pm 1.89 \times 10^{-1}$
25	$1.62 \times 10^2 \pm 1.72 \times 10^{-2}$
32	$1.89 \times 10^2 \pm 1.61 \times 10^{-2}$

一次関数でfittingする→



較正 - TDC

- fitting結果($\text{time}[\text{ns}] = p_0 + p_1 \times \text{TDC}$ 値)

較正パラメータ	値
p0	$-1.46 \times 10 \pm 5.30 \times 10^{-3}$
p1	$2.46 \times 10^{-1} \pm 3.88 \times 10^{-5}$

- TDC0=630nsのTDC値 - 崩壊時間より、time関数内のp1の符号を負にする
- 切片はTDC0=4095(MAX値)でtimeが0になるようにする

$$\text{time}[\text{ns}] = 1006 - 0.246 \times \text{TDC}$$

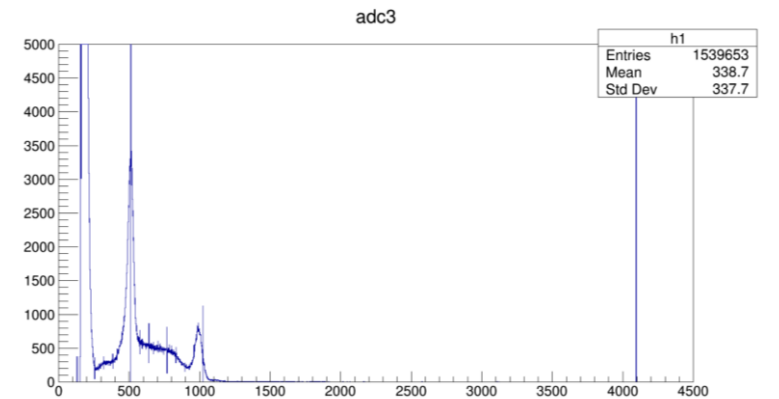
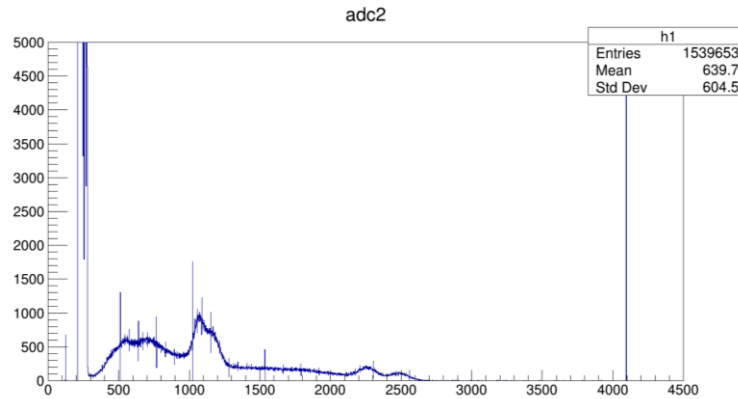
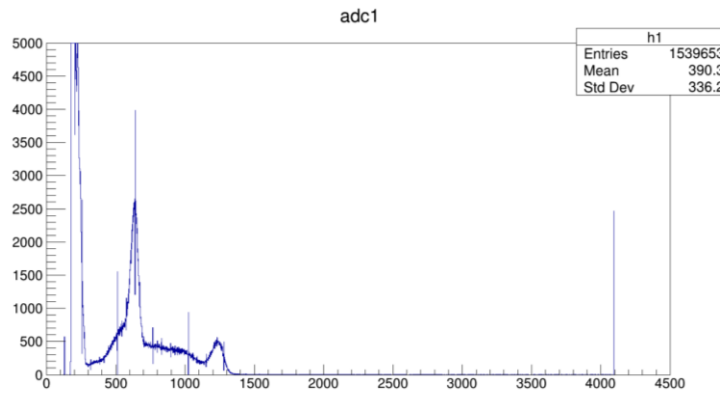
較正 - ADC

CH1

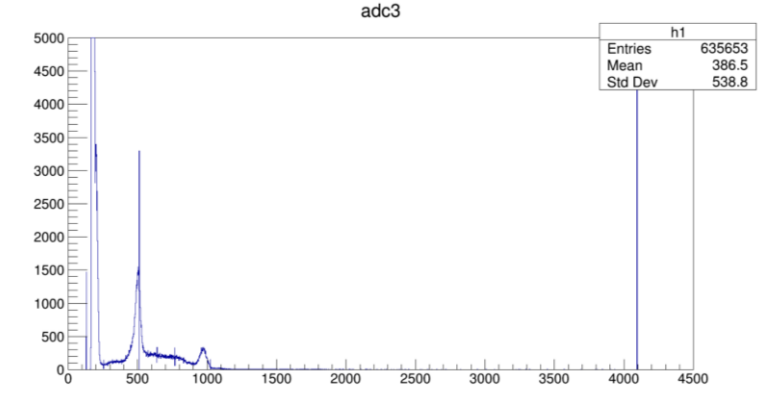
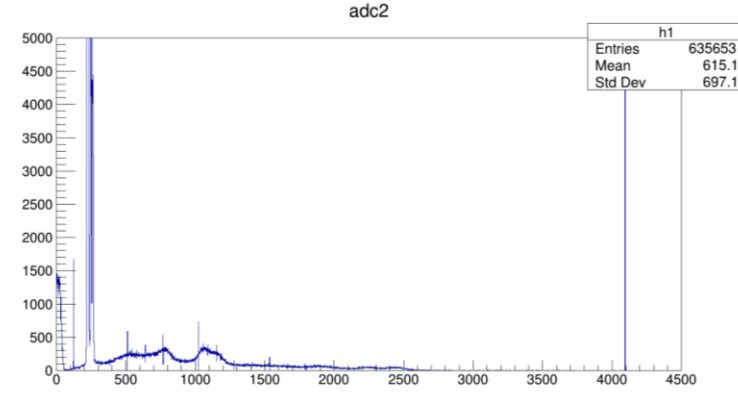
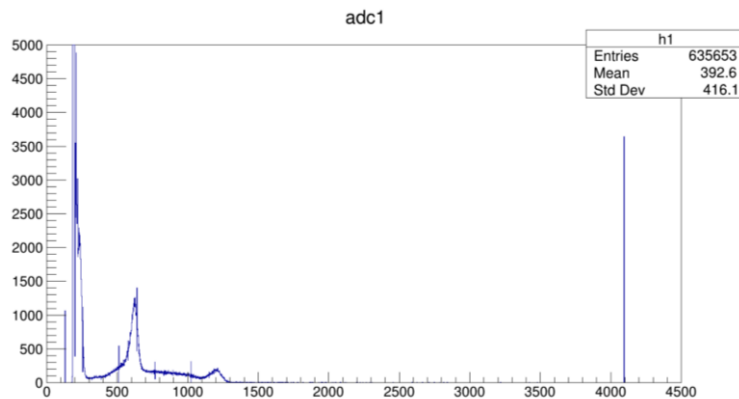
CH2

CH3

前半



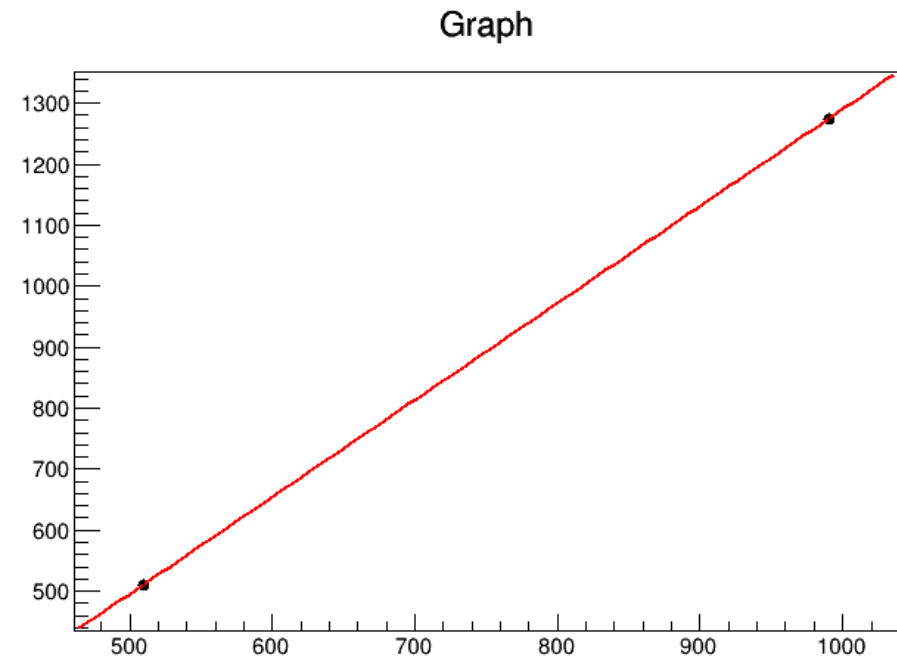
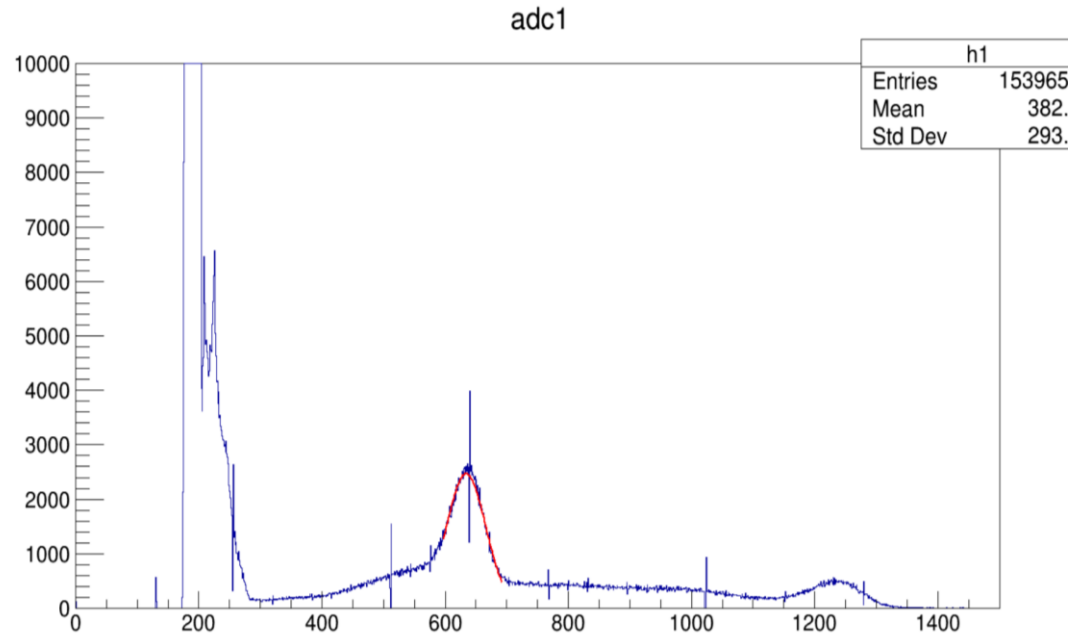
後半



較正 - ADC

- Na線源の511keV、1275keVのピークをガウス関数でfittingする
- 一次関数でfitする

横軸ADC、縦軸エネルギー[keV]



較正 - ADC

- fitting結果($\text{Energy}[\text{keV}] = p_0 + p_1 \times \text{ADC}$ 値)

	p0	p1
前半ADC1	$-2.98 \times 10^2 \pm 2.31$	$1.28 \pm 2.36 \times 10^{-3}$
前半ADC2	fitting出来ず	fitting出来ず
前半ADC3	$-2.98 \times 10^2 \pm 5.59 \times 10^{-1}$	$1.59 \pm 1.01 \times 10^{-3}$
後半ADC1	$-3.20 \times 10^2 \pm 8.40 \times 10^{-1}$	$1.34 \pm 1.18 \times 10^{-3}$
後半ADC2	fitting出来ず	fitting出来ず
後半ADC3	$-3.04 \times 10^2 \pm 5.81 \times 10^{-1}$	$1.63 \pm 1.01 \times 10^{-3}$

データの選択

- 以後、ADC2のデータは使わない
- 以下のデータのみを選択し今後の解析を行った。
 - ①TDC1orTDC3の値が4095以外の一定値を示す
→NaIが鳴っている
 - ②TDC0の値が4095
→どのNaIも鳴っていない、または崩壊時間が遅すぎる
 - ③ADCの値が大きすぎない
→宇宙線によりNaIが鳴っている

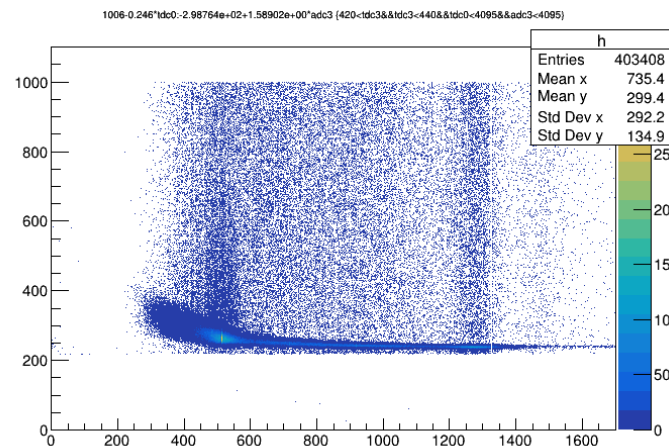
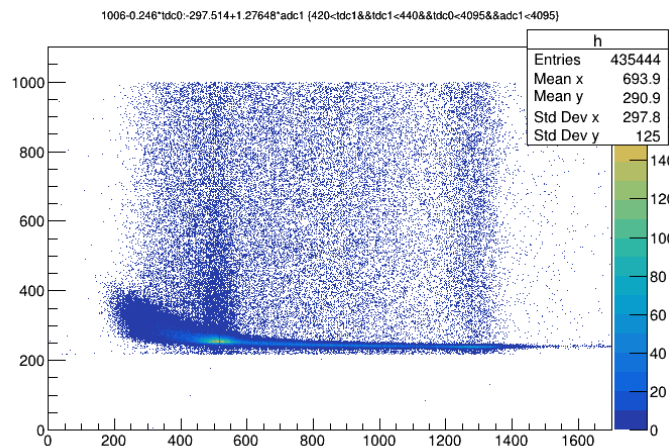
データの選択

横軸エネルギー[keV]、縦軸TDC0[ns]

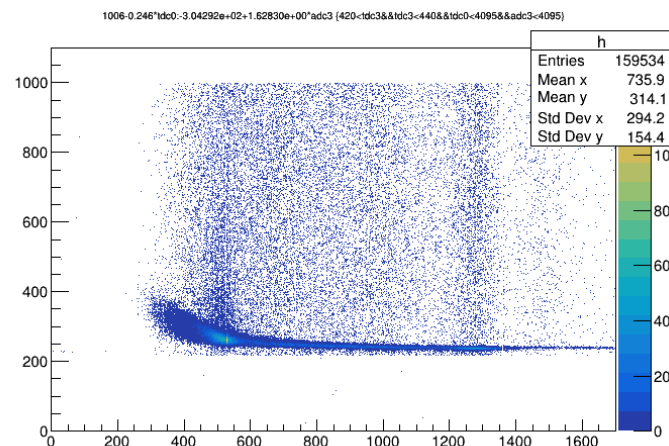
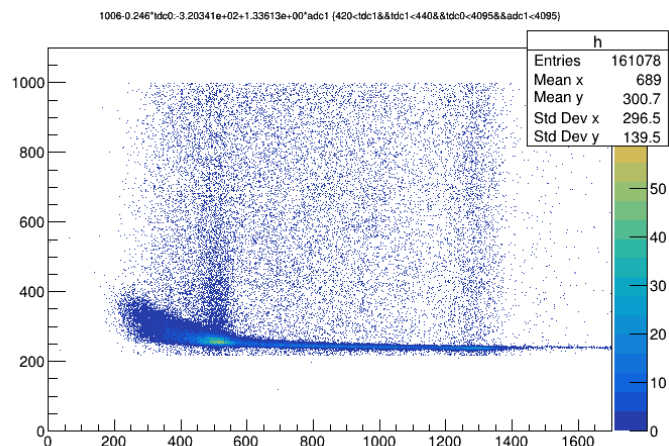
CH1

CH3

前半

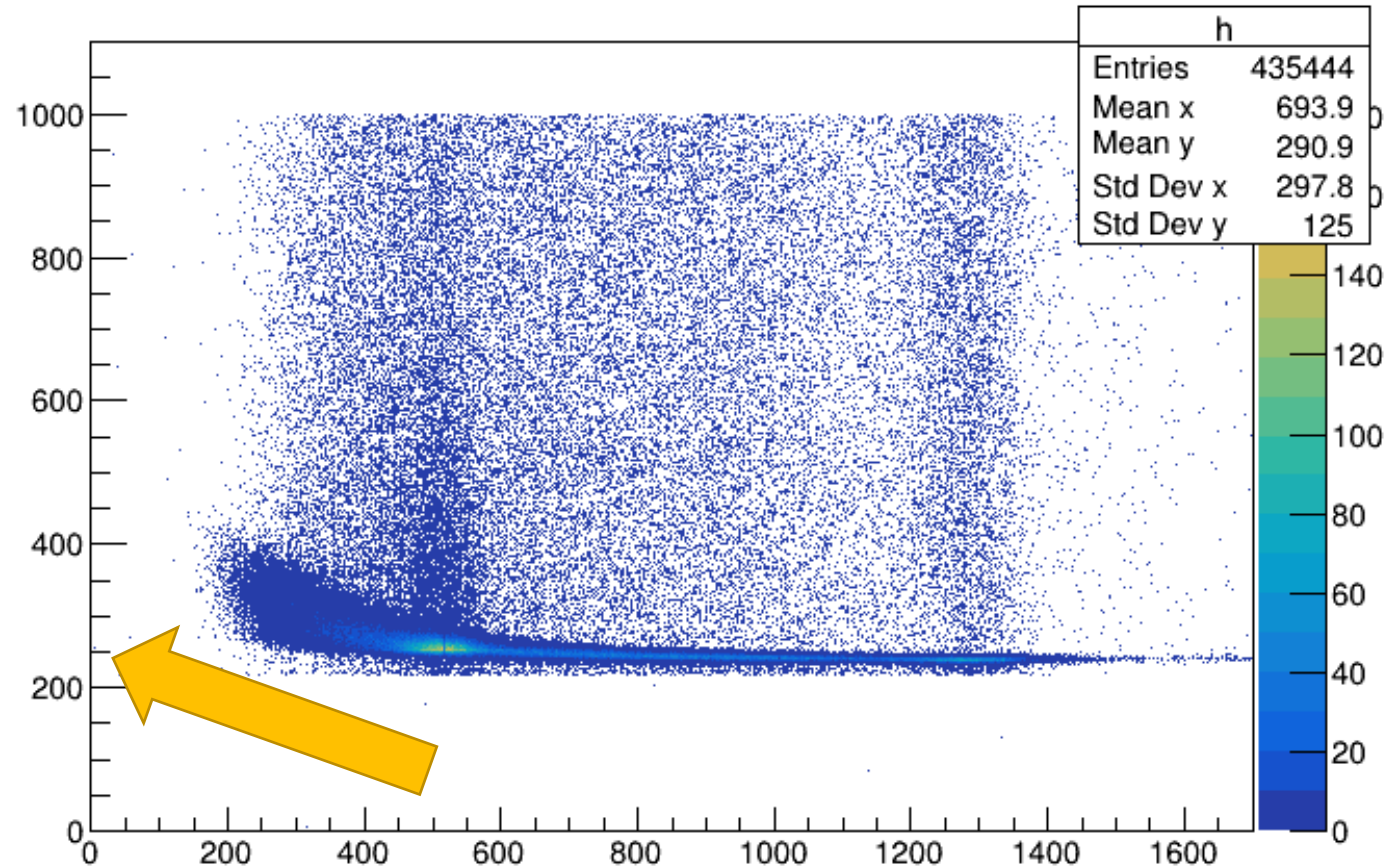


後半



TQ補正 - 原理

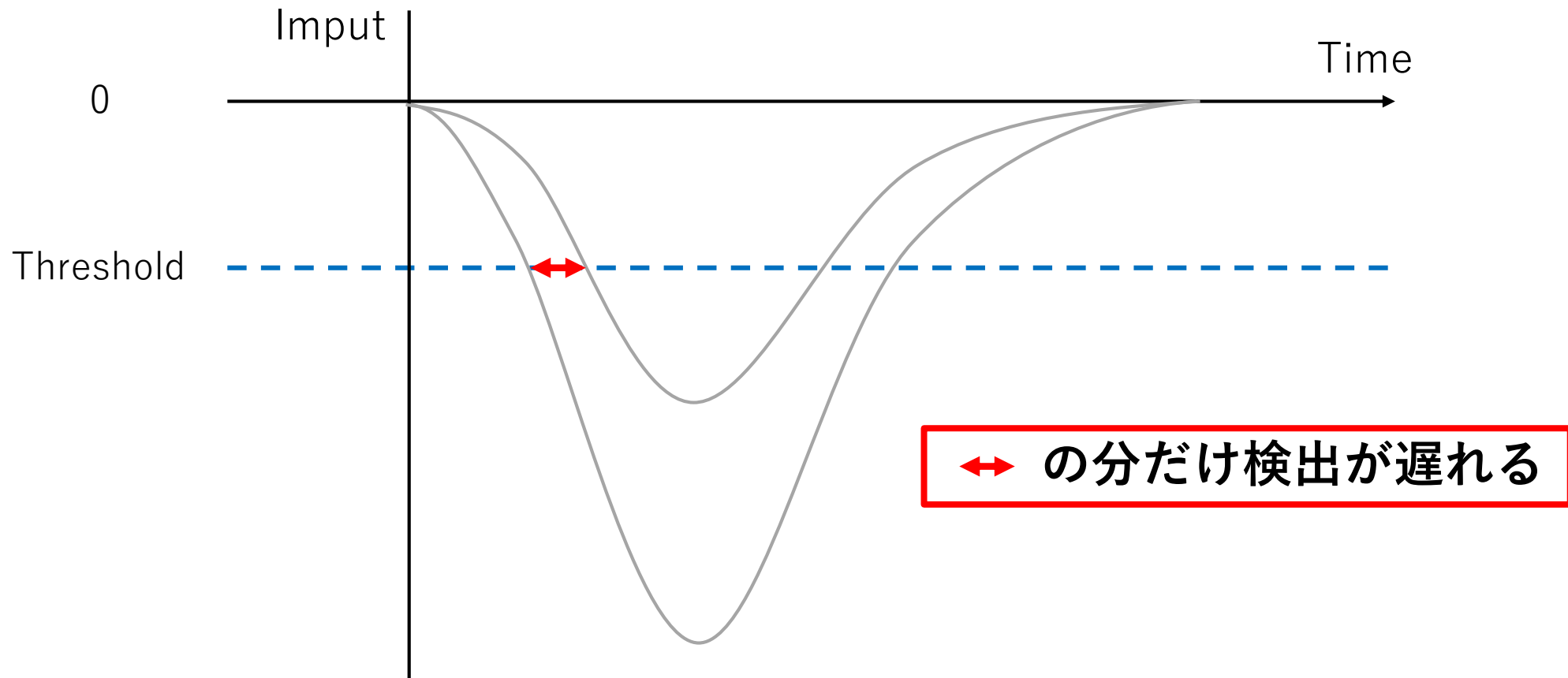
1006-0.246*tdc0:-297.514+1.27648*adc1 {420<tdc1&&tdc1<440&&tdc0<4095&&adc1<4095}



エネルギーが小さくなると時間が大きくなる

TQ補正 - 方法

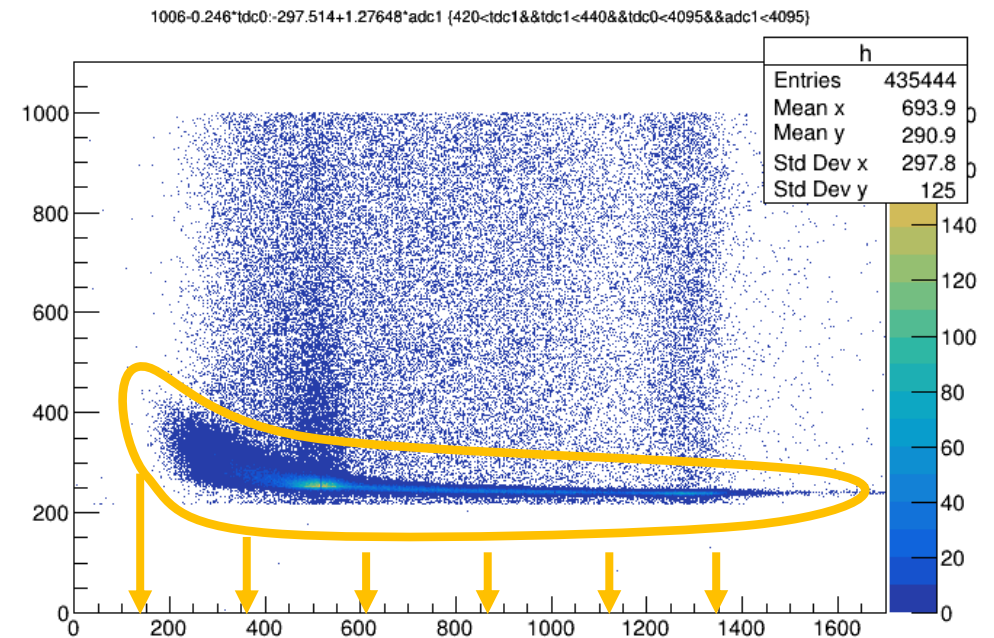
- Discriminator内部



TQ補正 - 方法

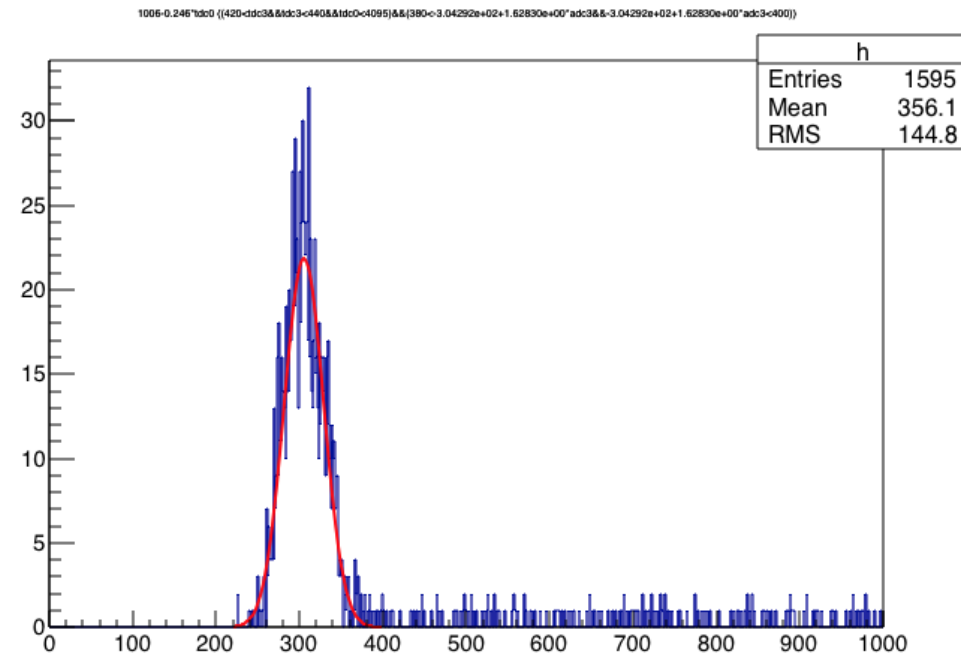
- Psの発生時刻からの正確な時間を調べたい。

- すぐ崩壊するp-Psの位置を
Time=0として補正する。
(TDCの時間分解能は0.2ns程度
p-Psの寿命は0.1ns程度)

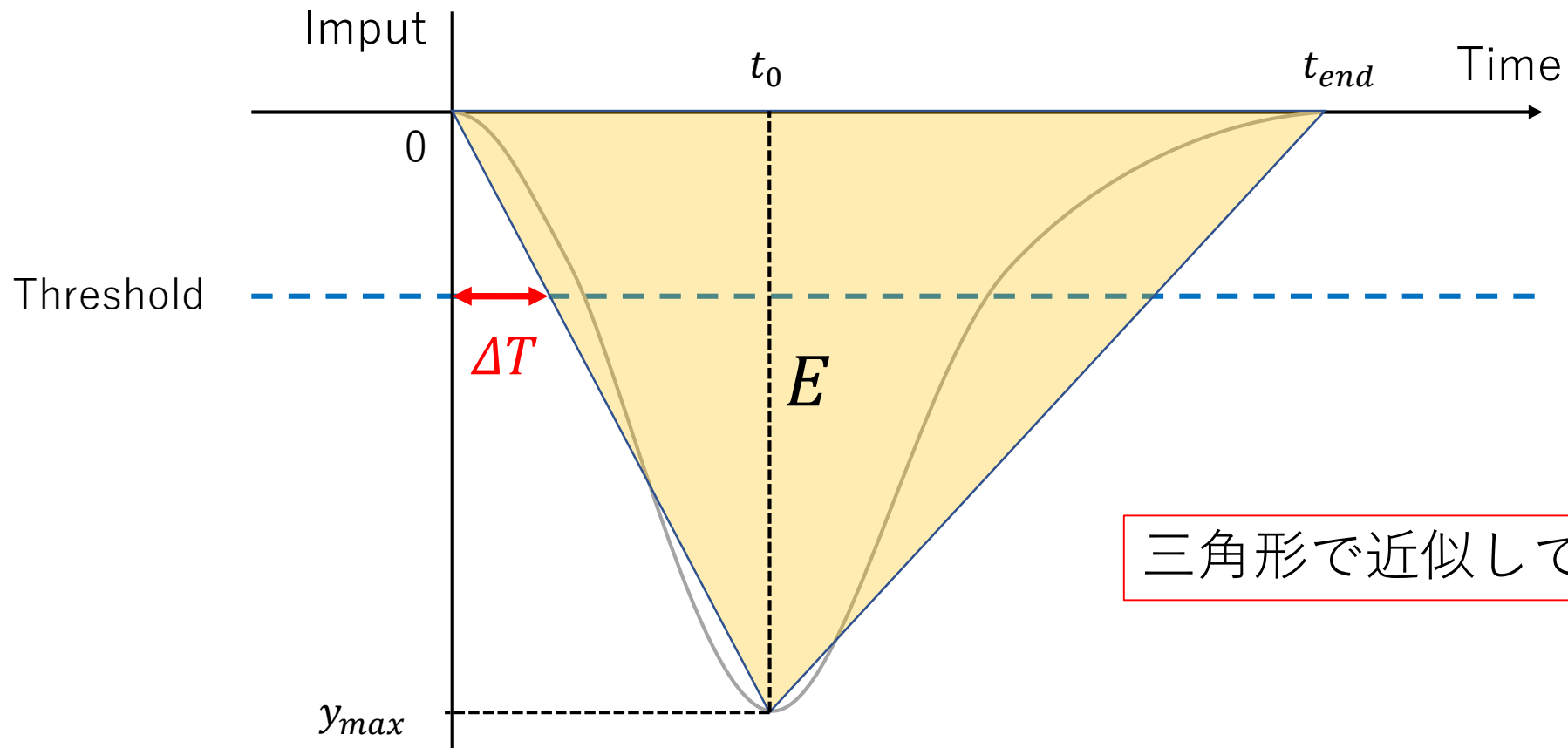


TQ補正 - 方法

- データの存在する場所から1050keVまで、20keVごとに時間のヒストグラムを書き、ピークをガウス関数でフィットして、meanを値とした。



TQ補正 - 補正関数



三角形で近似して考える

TQ補正 - 補正関数

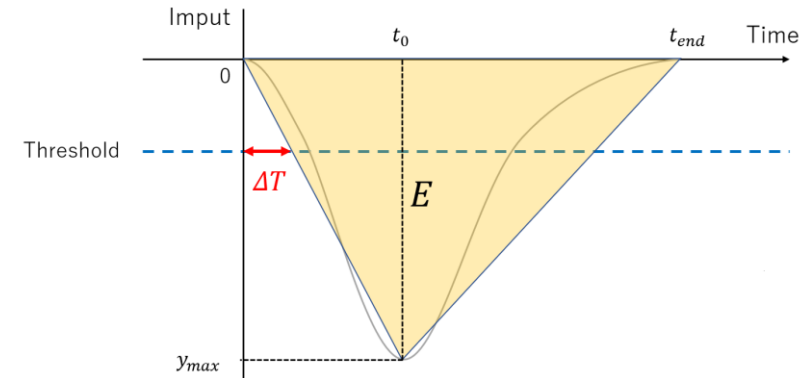
- 仮定： t_0 と t_{max} はエネルギーに依らない

- エネルギー $E = \text{三角形の面積} = \frac{t_{end} \times y_{max}}{2}$

- したがって、 $\Delta T = t_0 \times \frac{\text{Threshold}}{y_{max}} = t_0 \times \frac{y_0 \times t_{end}}{2E} \propto \frac{1}{E}$

- 大雑把な近似なので、実際に使う補正関数は

$$\Delta T(E) = \frac{p_0}{(E)^{p_1}} + p_2$$

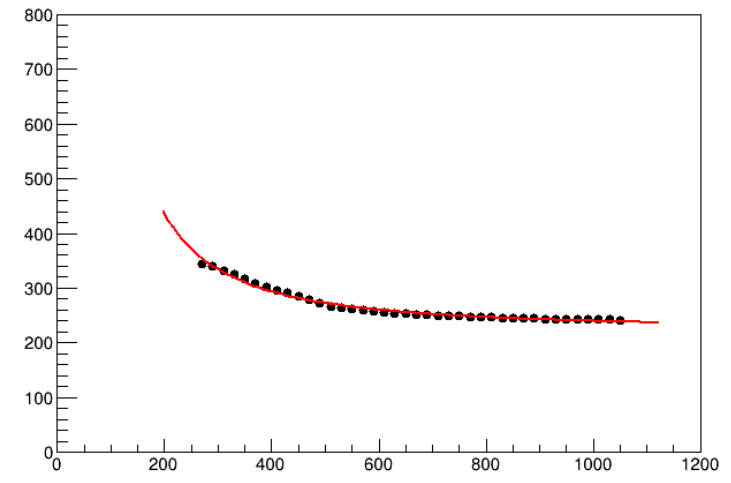
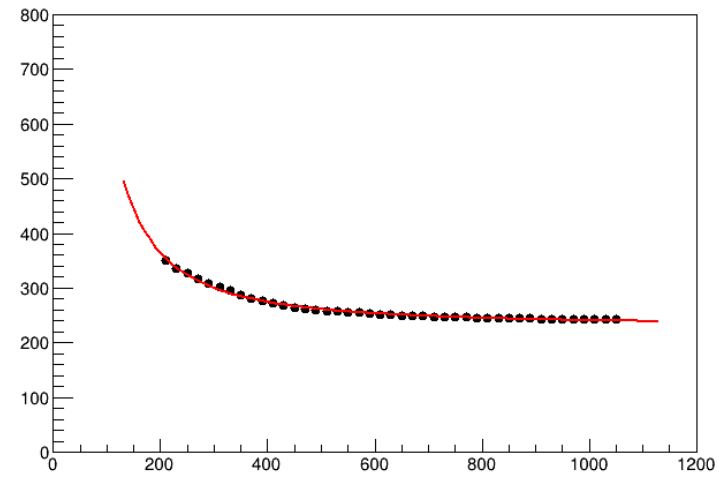


TQ補正 - fittingの様子

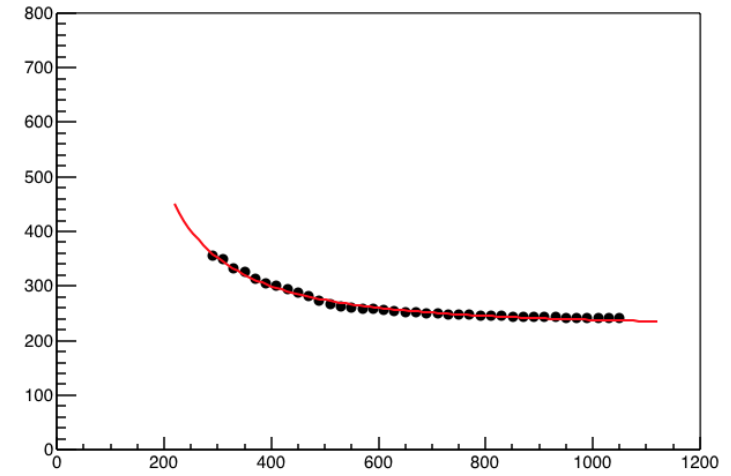
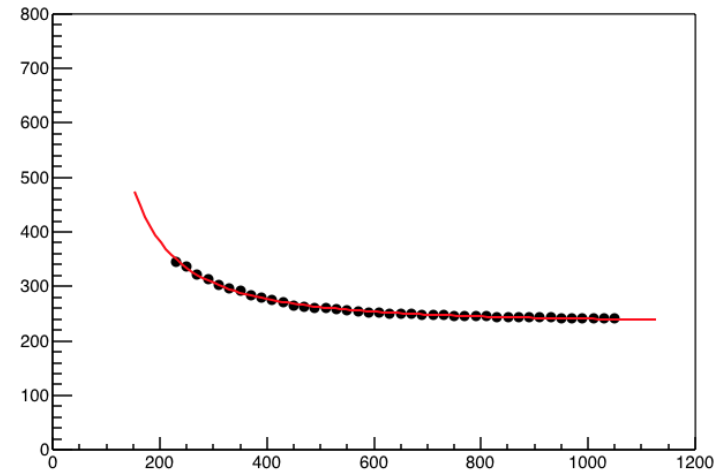
CH1

CH3

前半



後半



TQ補正 - 結果

$$\Delta T(E) = \frac{p_0}{(E)^{p_1}} + p_2$$

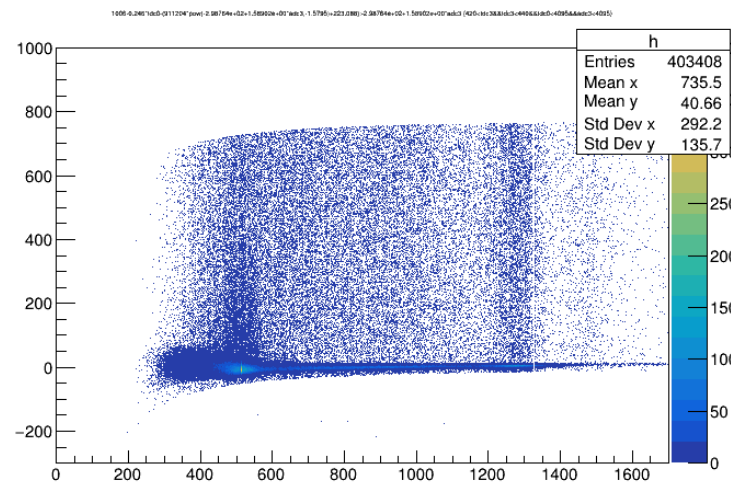
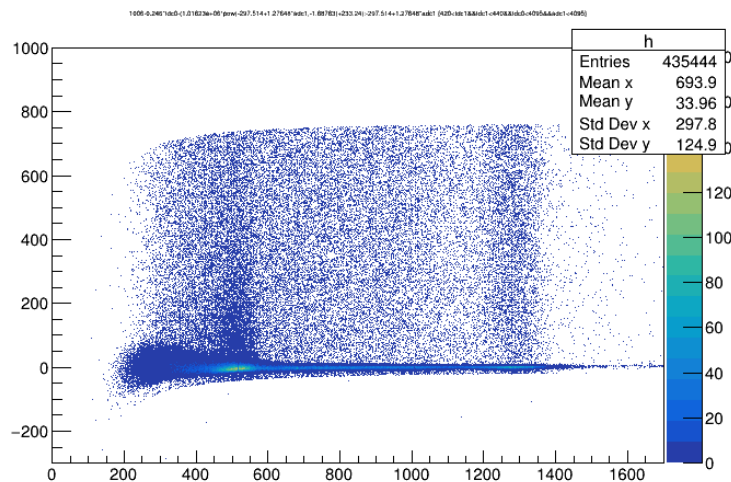
	p0	p1	p2
前半ADC1	$1.02 \times 10^6 \pm 2.11 \times 10^5$	$1.69 \pm 3.84 \times 10^{-2}$	$2.33 \times 10^2 \pm 6.89 \times 10^{-1}$
前半ADC3	$9.11 \times 10^5 \pm 4.28 \times 10^5$	$1.58 \pm 8.56 \times 10^{-2}$	$2.23 \times 10^2 \pm 2.56$
後半ADC1	$1.55 \times 10^6 \pm 4.12 \times 10^5$	$1.74 \pm 4.92 \times 10^{-2}$	$2.31 \times 10^2 \pm 1.05$
後半ADC3	$3.79 \times 10^6 \pm 4.48 \times 10^5$	$1.80 \pm 2.25 \times 10^{-2}$	$2.23 \times 10^2 \pm 1.02$

TQ補正 - 結果

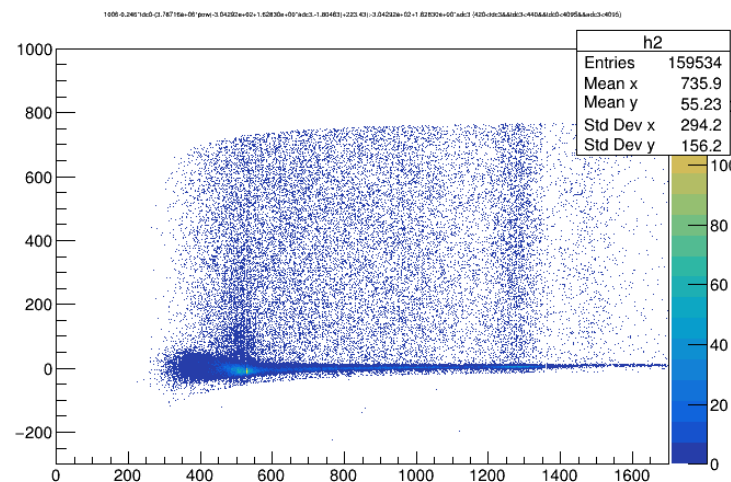
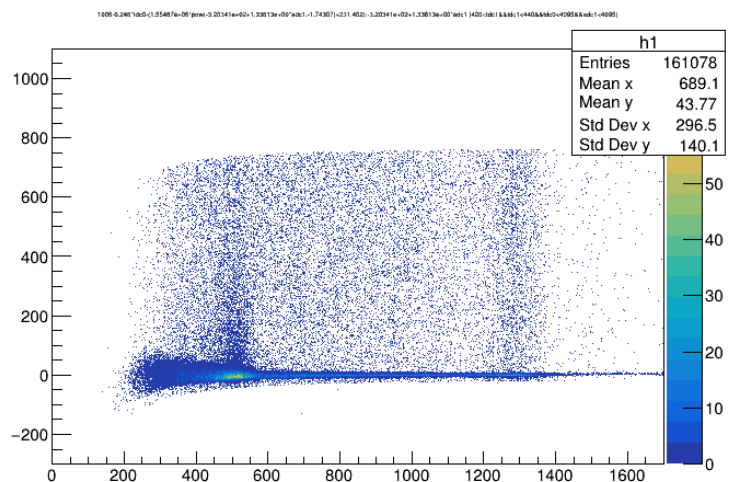
CH1

CH3

前半



後半



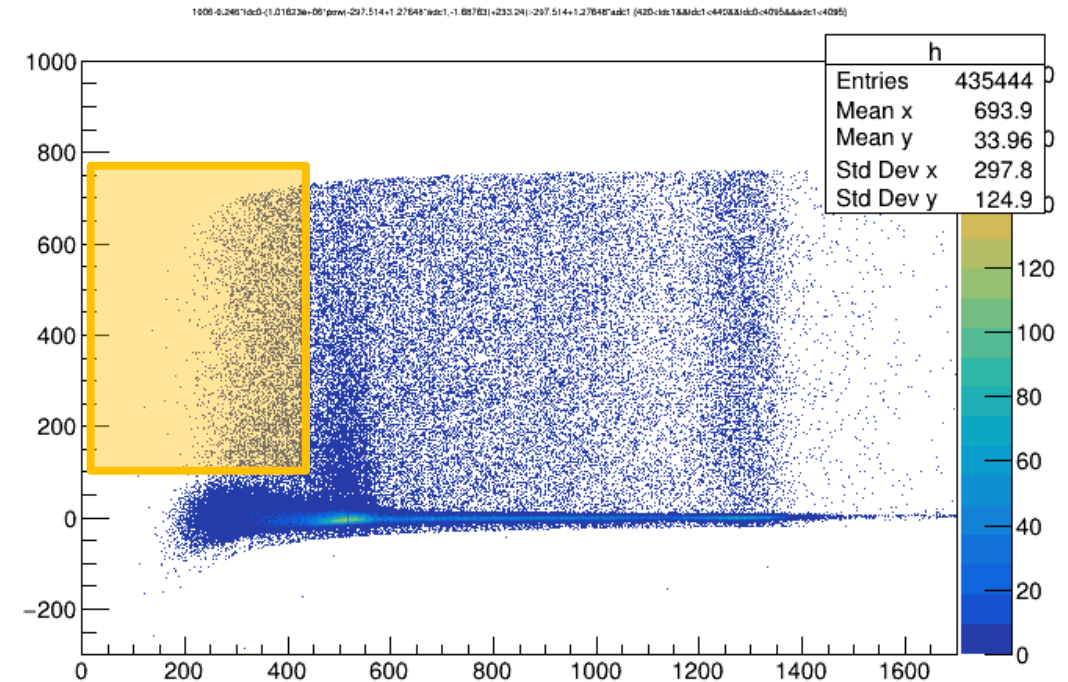
o- P_s の寿命を求める

- エネルギー450keV以下
- 崩壊時間が遅い

という条件でデータを抽出し、

$$Count = p_0 \exp\left(-\frac{Time}{p_1}\right) + p_2$$

でfittingする。 p_1 が寿命。

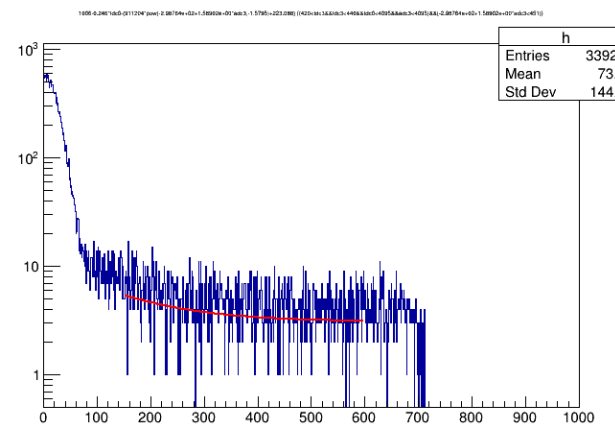
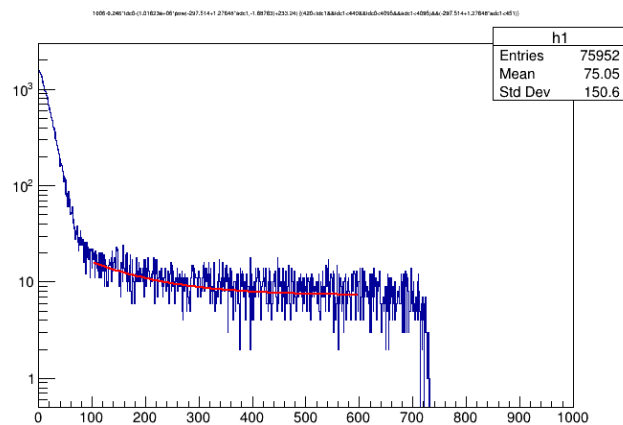


o- P_s の寿命を求める

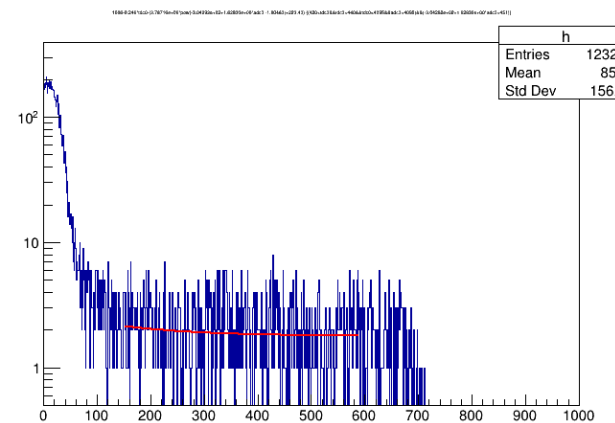
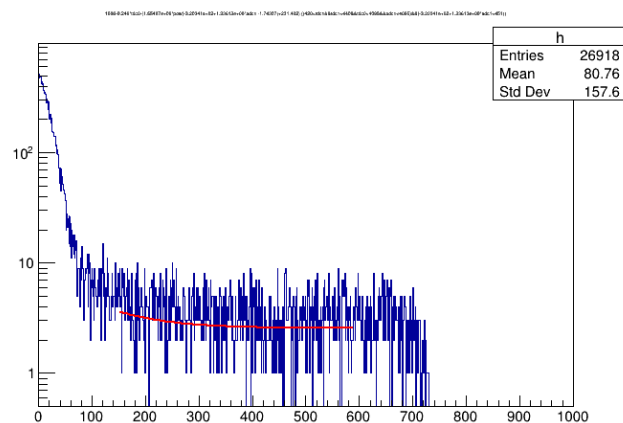
CH1

CH3

前半



後半



0- P_S の寿命を求める

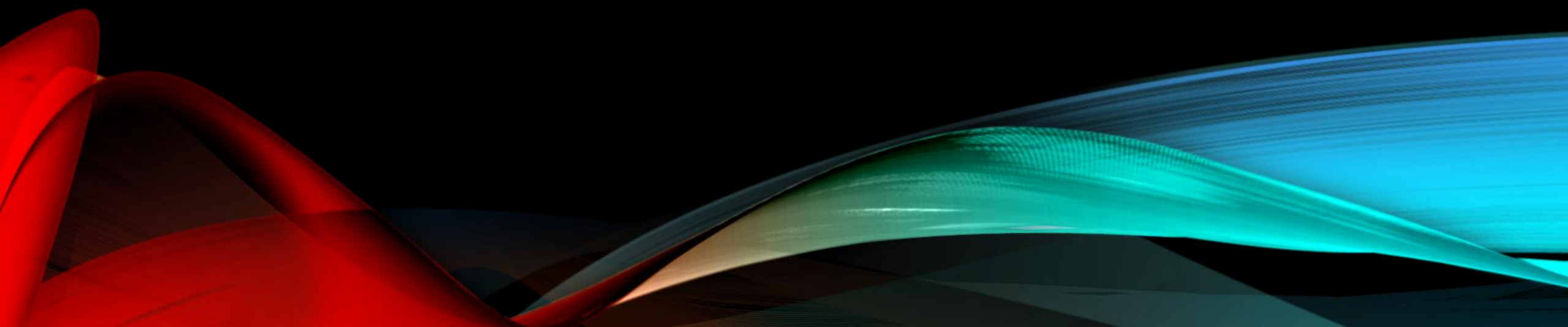
$$Count = p_0 \exp\left(-\frac{Time}{p_1}\right) + p_2$$

	寿命p1[ns]
前半ADC1	$1.15 \times 10^2 \pm 1.95 \times 10$
前半ADC3	$1.23 \times 10^2 \pm 5.26 \times 10$
後半ADC1	$8.65 \times 10 \pm 7.57 \times 10$
後半ADC3	$1.16 \times 10^2 \pm 3.07 \times 10^2$

誤差が大きい。データの数が少ないせいかな。

6.解析2

pick-off補正



周囲との相互作用

- pick-off反応
Ps内の陽電子が周囲の電子と反応し 2γ に崩壊する反応
- スピン交換反応
o-Ps内の電子が周囲の電子とスピンを交換する反応
- 化学反応
Hと構造が似ているために化学反応を起こす

これらはo-Psが結果的に 2γ に崩壊する可能性を意味する

pick-off補正と崩壊幅

- 先のような反応でo- Ps が 2γ に崩壊するのを補正するのをまとめてここではpick-off補正と呼ぶことにする
- 1粒子の単位時間当たりの崩壊確率を崩壊幅という

観測される崩壊幅

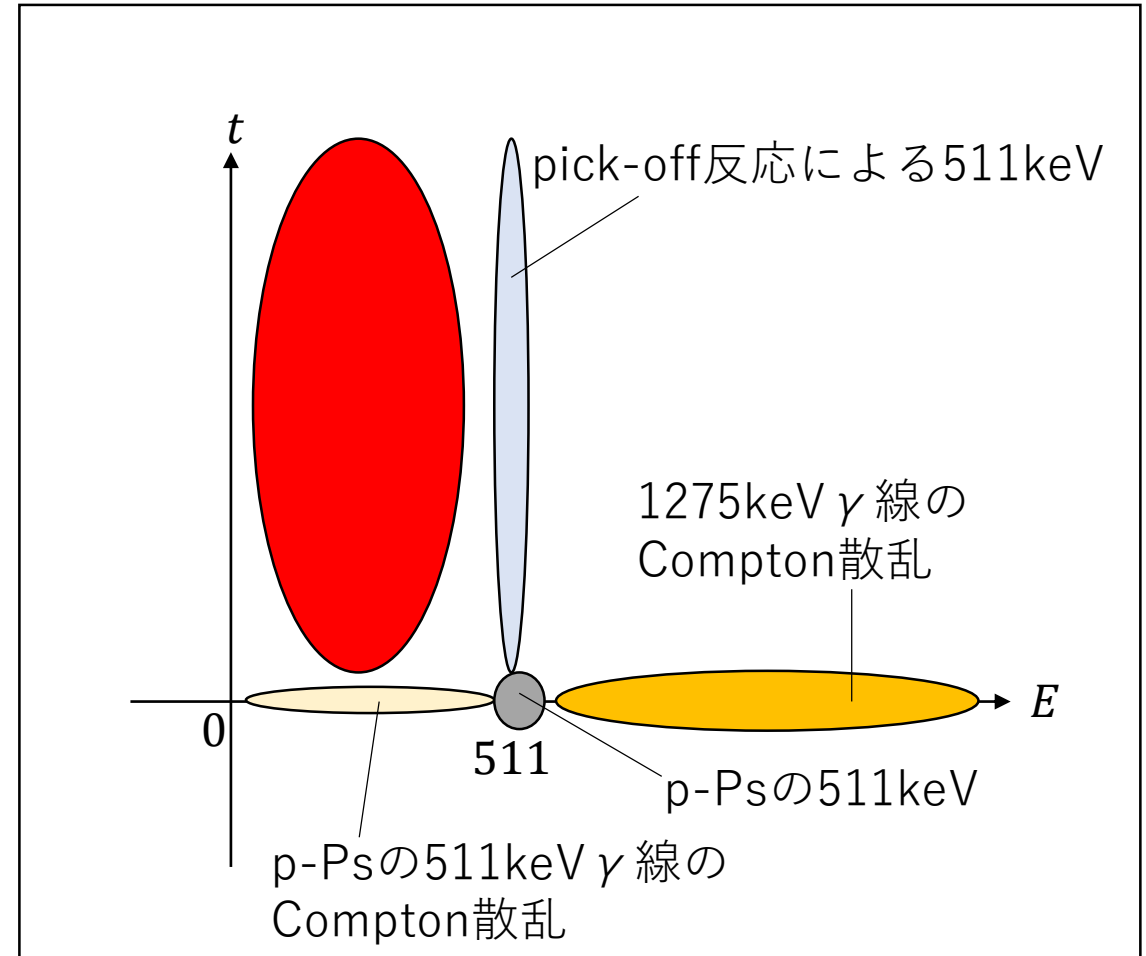
$$\Gamma = \Gamma_o + \Gamma_{po}$$

但し、観測される崩壊幅を Γ 、o- P_s の3 γ への崩壊幅を Γ_o 、先のような反応による崩壊幅を Γ_{po} とした

o- P_s の寿命 τ が $\tau = \frac{1}{\Gamma_o}$ で表されることに注意

補正が必要な理由

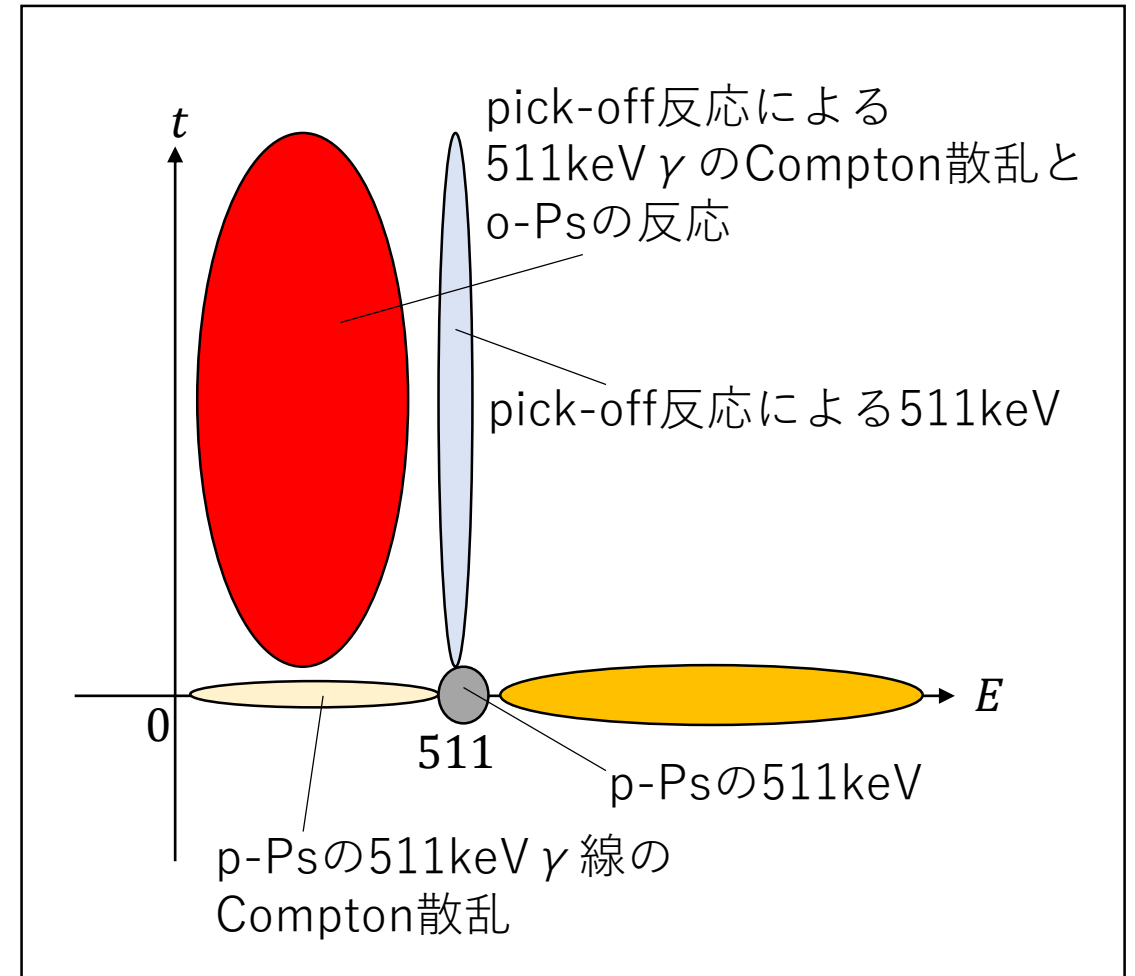
- 赤色の部分はpick-off反応による511keV γ 線のCompton散乱とo-Psの3 γ への崩壊が混ざっているため、前者を除かなければならない



pick-off補正関数 $g(t)$ 作成上の仮定

- 各時刻において511keVのピークとCompton散乱のみを取り出したデータは相似とする

つまり、時刻0ではほぼp-Psしかいないので、ここでの分布を調べ、赤の領域においてそれを差し引くことでo-Psの 3γ への崩壊を取り出せると仮定する



pick-off補正関数の定義

pick-off補正関数 $g(t)$ を以下で定義する

$$g(t) = \frac{\Gamma_{po}}{\Gamma_o} = \frac{\Delta N_{po}(t)}{\Delta N_o(t)}$$

$$(\because \frac{dN}{dt} = -\Gamma N = -(\Gamma_o + \Gamma_{po})N)$$

ここで、 $\Delta N_o(t)$ と $\Delta N_{po}(t)$ はそれぞれ時刻 t におけるo-Posの低エネルギー領域での検出数、相互作用由来のCompton散乱に関する検出数

$N(t)$ の満たす $g(t)$ に関する微分方程式

$$\frac{dN(t)}{dt} = -(\Gamma_o + \Gamma_{po})N(t) = \frac{1 + g(t)}{\tau} N(t)$$

これを解くと

$$N(t) = N_0 e^{-\frac{1}{\tau} \int dt(1+g(t))}$$

一定時間に崩壊するo-PSの数を考えると、これを微分して

$$-\frac{dN}{dt} = n_0(1 + g(t))e^{-\frac{1}{\tau} \int dt(1+g(t))}$$

pick-off フィットティング関数 $f(t)$ の定義

$$g(t) = \frac{\Delta N_{p_0}(t)}{\Delta N_o(t)} = p_0 + p_1 e^{\frac{t}{p_2}}$$

を代入し整理すると実際のフィットティングのため定数 q_0 を加えて

$$-\frac{dN(t)}{dt} = f(t) = q_0 + q_1(1 + p_0 + p_1 e^{\frac{t}{p_2}}) e^{\frac{(1+p_0)t + p_1 p_2 e^{\frac{t}{p_2}}}{q_2}}$$

とフィットティング関数 $f(t)$ が求まる

$g(t)$ のデータからの導出

相似の仮定より

$$\Delta N_{po} = \frac{y(t)S(0)}{y(0)}$$

ここで、 $y(t)$ は時刻 t での511keVのピークの高さ、 $S(t)$ は低エネルギー(450keV以下)でのイベント数

これより

$$g(t) = \frac{\Delta N_{po}(t)}{\Delta N_o(t)} = \frac{\Delta N_{po}(t)}{S(t) - \Delta N_{po}(t)} = \frac{y(t)S(0)}{y(0)S(t) - y(t)S(0)}$$

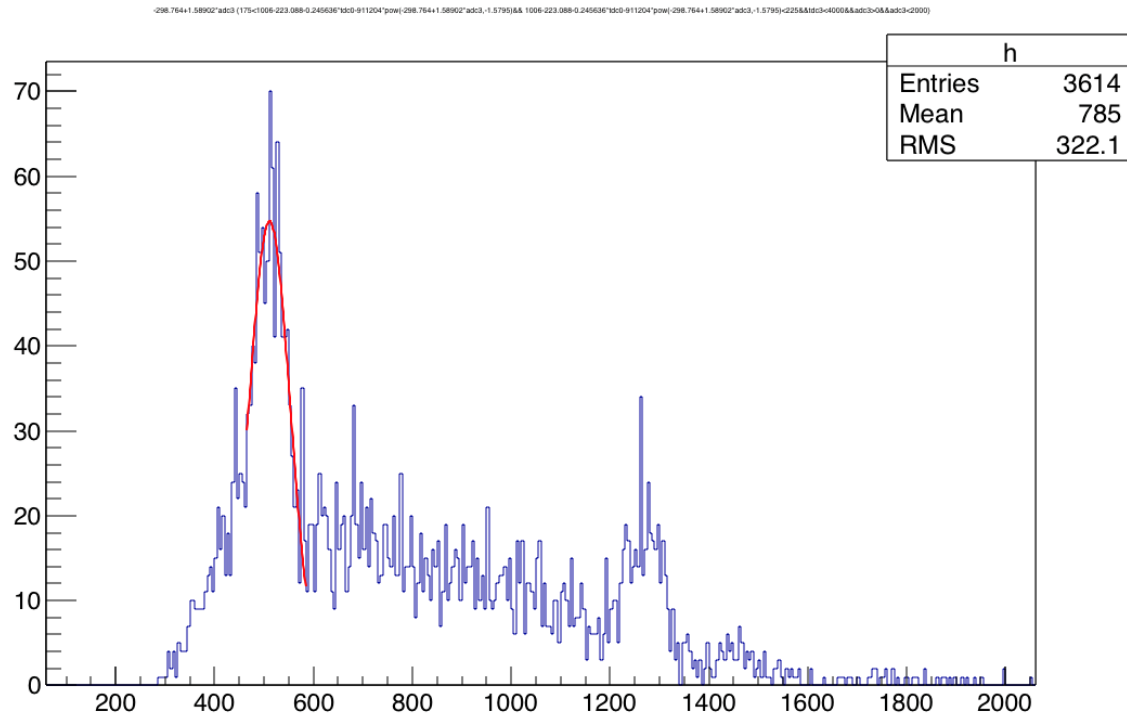
となる

時刻 t の定義

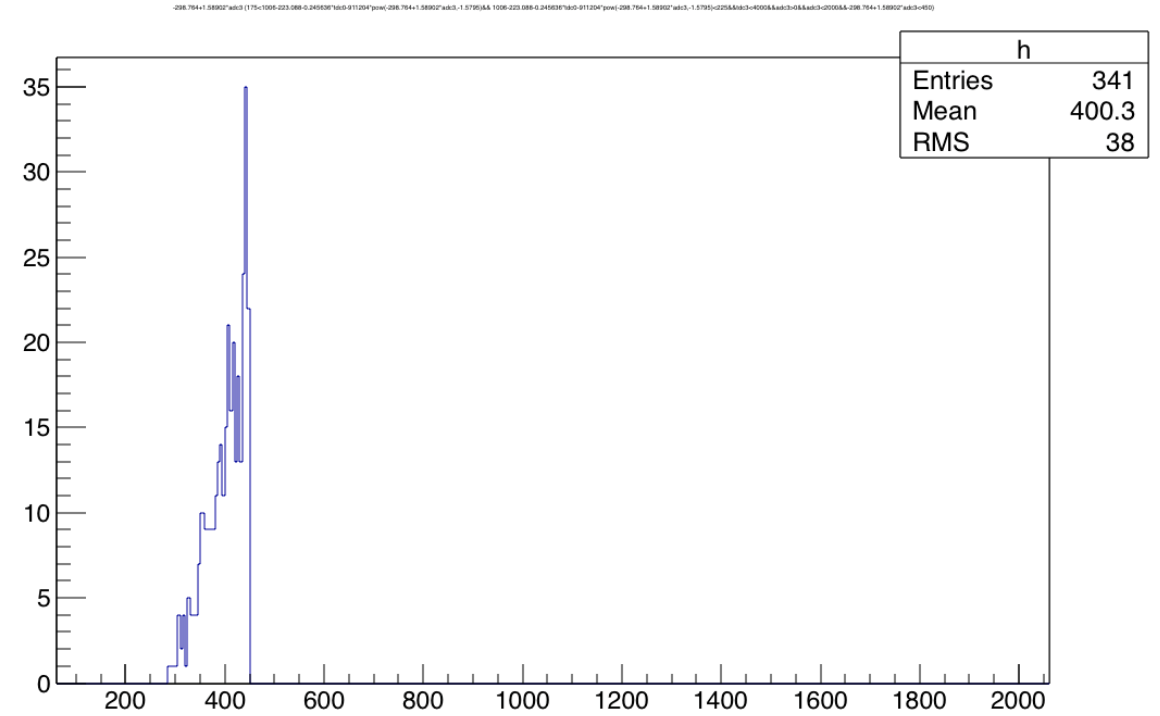
時刻 t は以下のように定義し、以下のように処理した

- $[-25\text{ns}, 25\text{ns}]$ の区間にあるデータは時刻0である
- $[(t - 25)\text{ns}, (t + 25)\text{ns}]$ の区間にあるデータは時刻 t である
- $t = 100 + 50n$ ($0 \leq n \leq 8, n \in \mathbb{Z}$) を解析の対象とした

実際の補正の様子



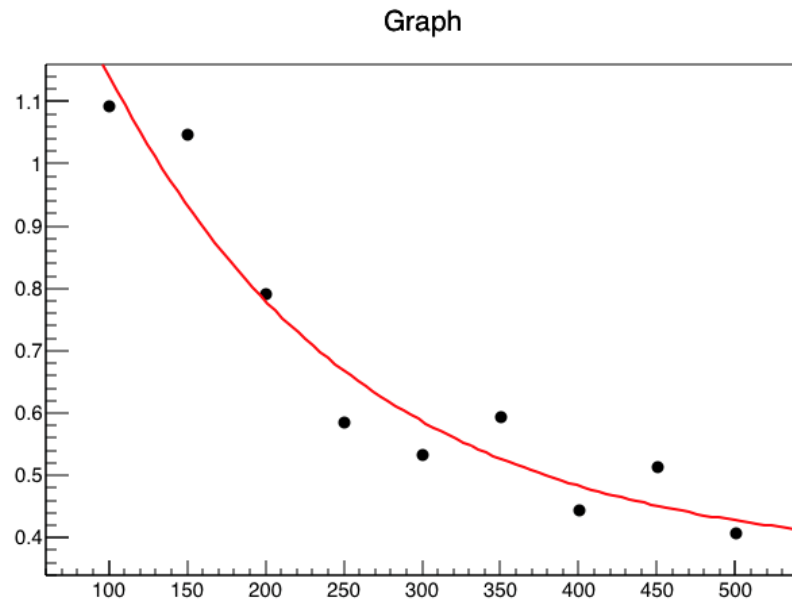
511KeVのピークの高さ



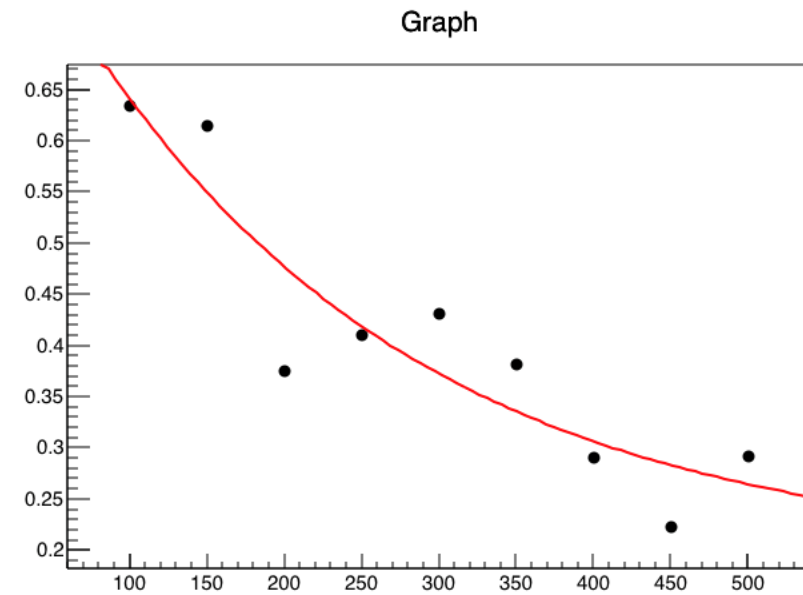
450KeV以下の総エントリー数

(1回目の実験のNaI1のデータの175ns<t<225nsを用いたもの)
これをいろんな時間の領域で繰り返していく。

実際の補正の様子



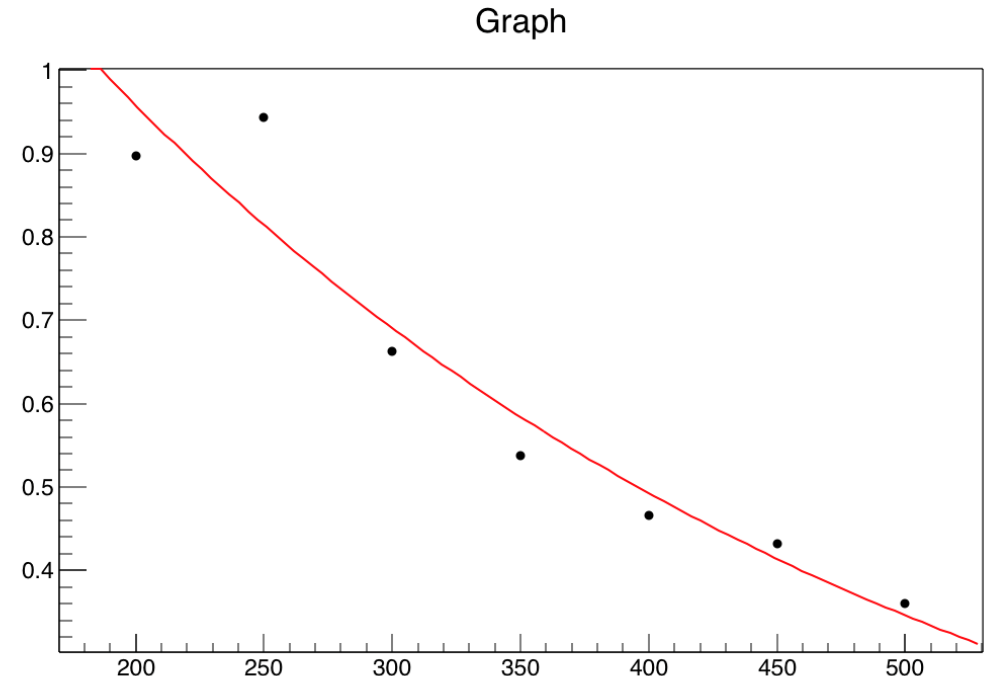
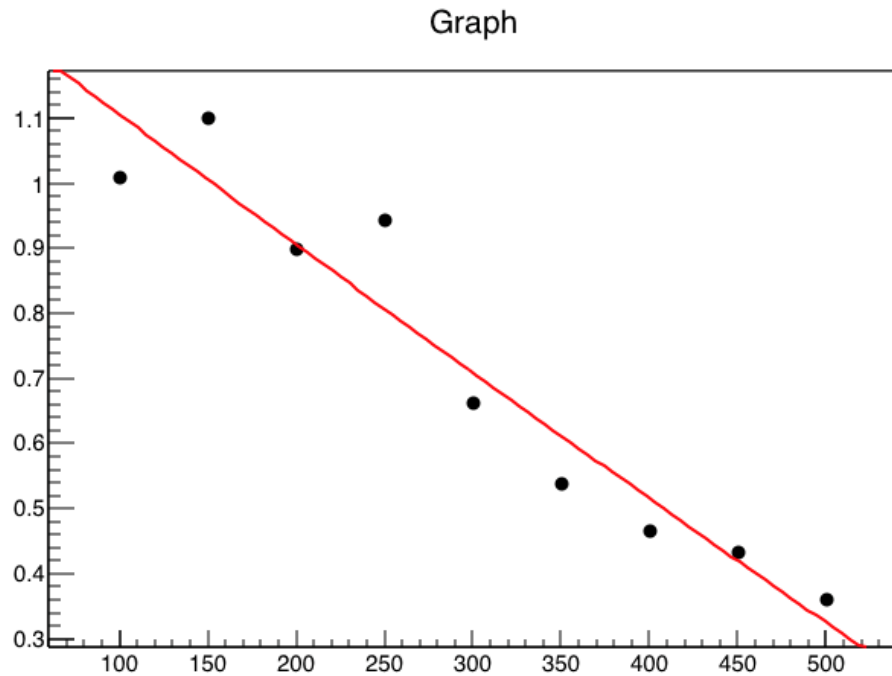
NaI1



NaI3

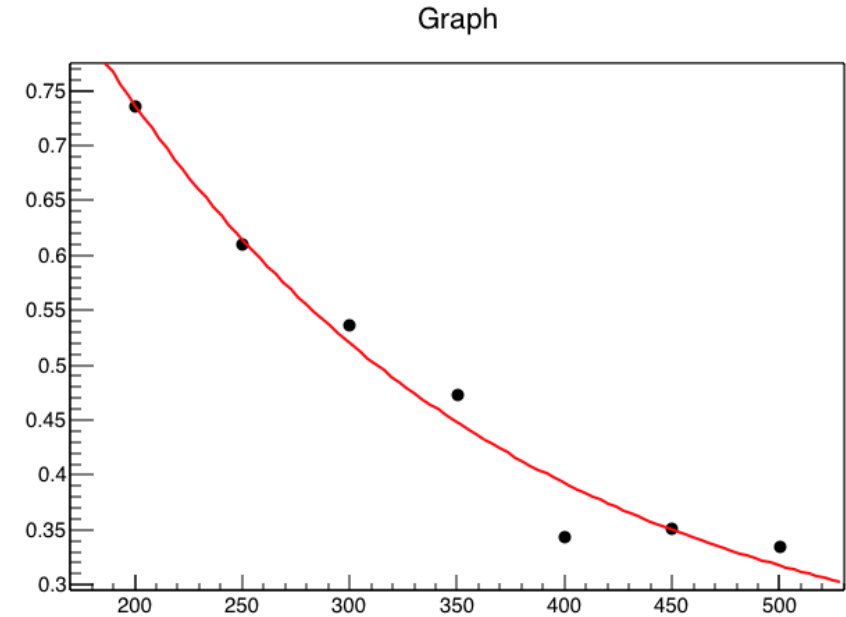
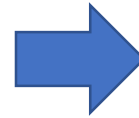
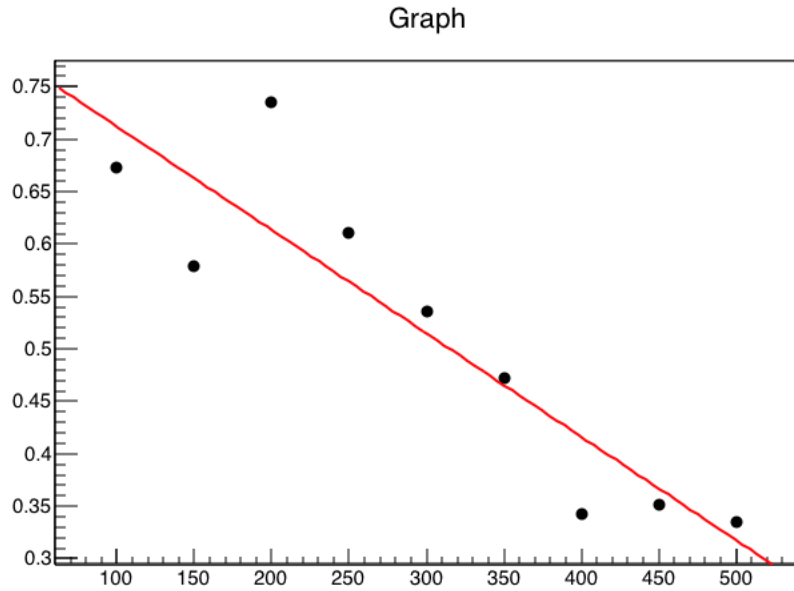
ピックアップ補正関数のフィッティングの様子
(2回目の実験)

実際の補正の様子



1回目の実験のデータを用いてpick-off補正関数を求めようとした時に、低崩壊時間の領域の影響で線形になっていたのを、そこを省いて補正した。
(この画像はNaI1の1回目の実験のデータを用いたもの。のちに考察。)

実際の補正の様子



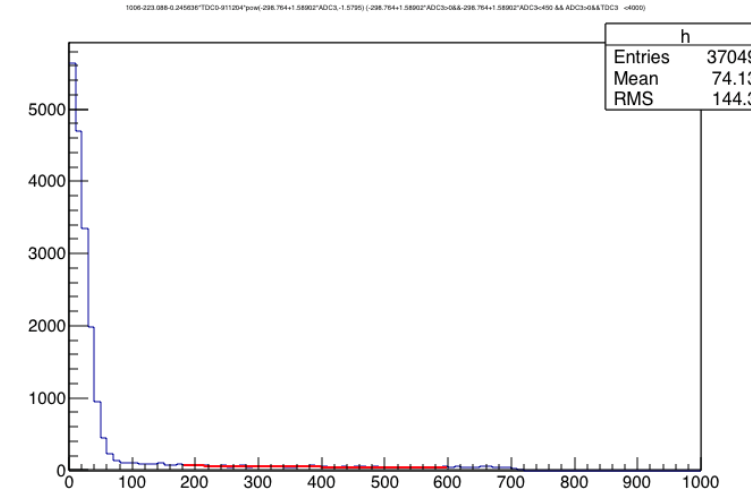
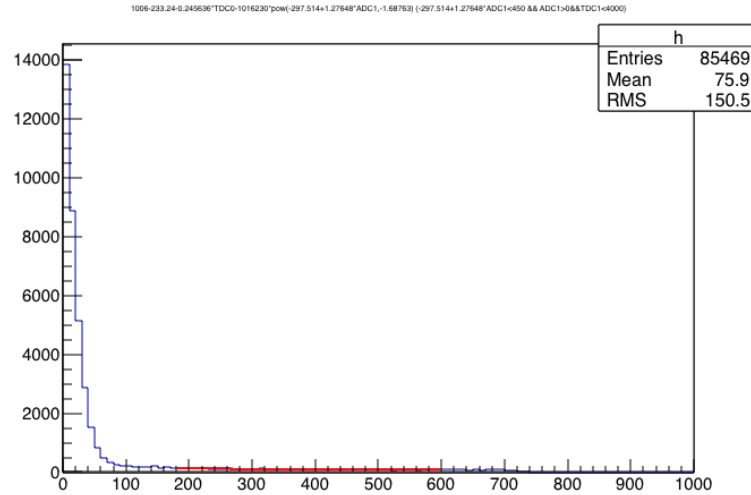
1回目の実験のデータを用いてpick-off補正関数を求めようとした時に、低崩壊時間の領域の影響で線形になっていたのを、そこを省いて補正した。
(この画像はNaI3の1回目の実験のデータを用いたもの。のちに考察。)

実際の補正の様子

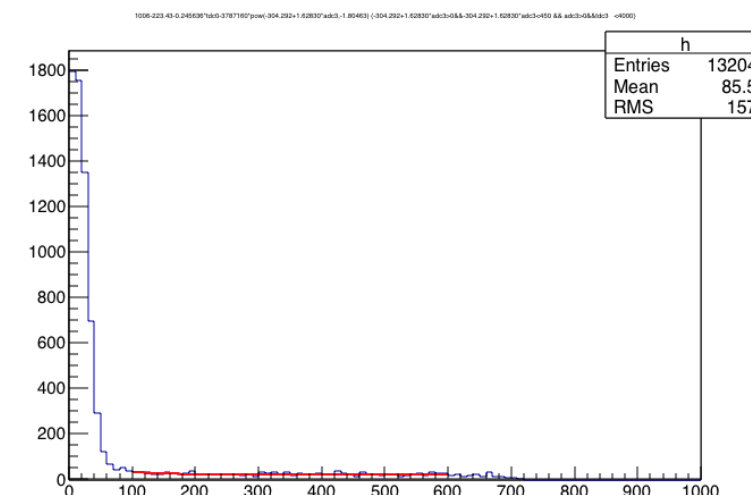
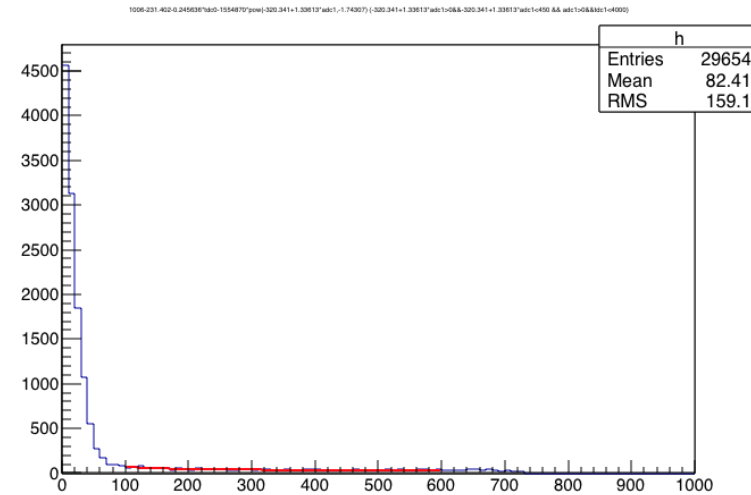
Na1

Na3

前半



後半



1回目の実験は180ns~600nsで、
2回目の実験は100ns~600nsでフィッティングをしている。

実際に求めた値

パラメーター	Na1 (1回目)	Na3 (1回目)	Na1 (2回目)	Na3 (2回目)
p_0	-0.0721633	0.210396	0.363989	0.191812
p_1	1.87891	1.52439	1.45675	0.710317
p_2	-332.715	-188.306	-159.824	-219.167
q_0	80.9486 ± 12.8148	36.4188 ± 10.4050	88.3911 ± 4.04460	55.2563 ± 2.54737
q_1	17.8389 ± 8.49105	23.8172 ± 4.11307	51.3911 ± 8.24552	20.5411 ± 11.7406
$-q_2$ (寿命)	453.676 ± 348.498	393.644 ± 385.432	194.401 ± 55.4636	107.178 ± 75.2429

7. 結果と考察

○-Psの寿命の実験値と分析

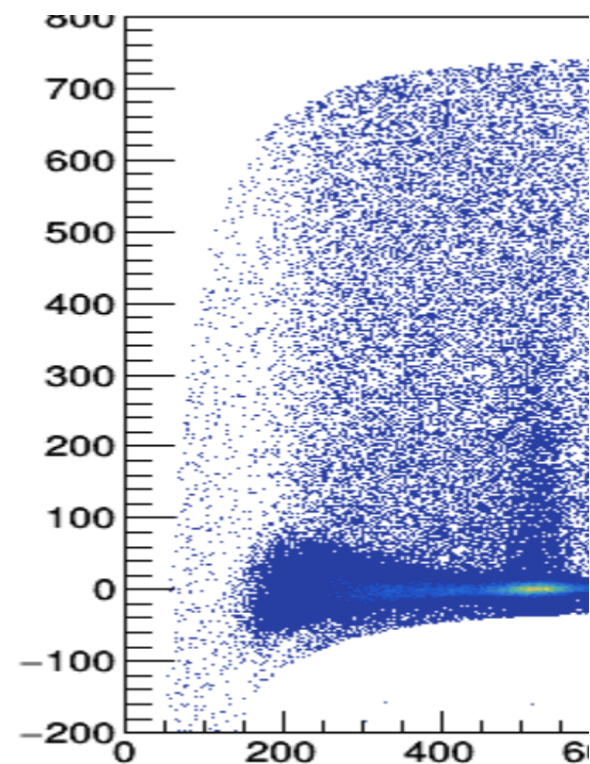
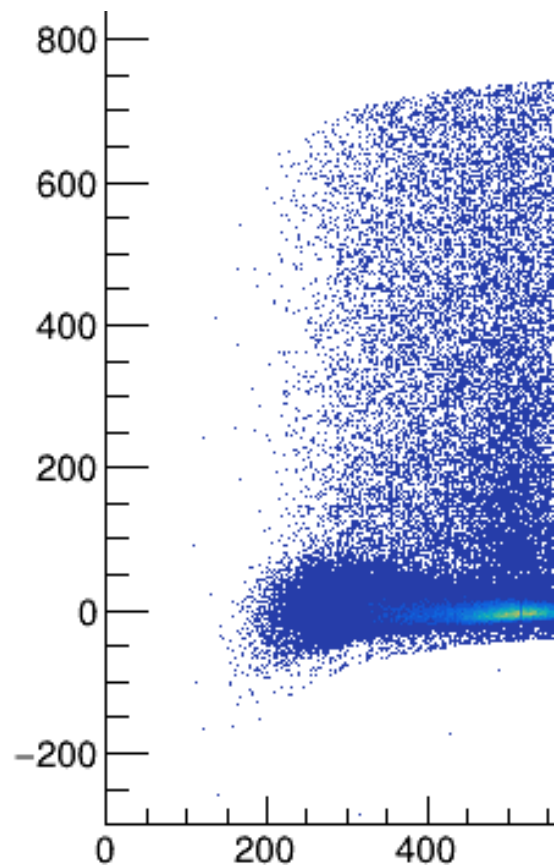
考察(1)-イベント数

寿命の誤差が全体として大きかった大きな原因としてデータ数が少なかったことが挙げられる。つまり統計誤差が大きく影響していると思われる。

詳しい原因はわからないのだが、200以下のエネルギー領域におけるデータ数が非常に少なくなっていることが前期のデータと比較するとよくわかり、この影響は大きいと考えられる。

全体のイベント数としては比較しても問題はないので、つまり高エネルギー領域にイベントが偏っているということになる。

考察(1)-イベント数



左：今期（全435444エントリー）

右：前期（全382452エントリー）

のTQ補正済みのデータの比較(Na1)。

エントリー数は今期が多いが、低エネルギー領域で明らかにデータが少なくなっている。

考察(1)-イベント数

寿命の測定に用いたのは主に450KeV以下の低エネルギー領域であったので、その領域のイベント数は結果の精度に直結する。

これによって例年とイベント数は変わらないのに精度が悪くなっていると考えられる。

前期のデータでは、NaI1で最も低エネルギー領域でのイベントが多く、NaI2,3では今回と似たような状況になっていた。（尚、それでも今回の方が低エネルギーでのイベントは少なくなっている。）しかし今回はNaI1,3の双方で低エネルギーでのイベントが取れていない。

考察(1)-イベント数

前期の実験に比べthresholdや電圧の高さはさほど変わらなかったなので、NaIシンチレーターの劣化で低エネルギー領域での感度が下がっている可能性というの也被えられる。

他に前期と違った点と言えは、シリカパウダーについて。

今回は、今まであまり効果を感じなかったということでシリカパウダーをオーブンで熱して水分を飛ばすという工程を省略し、またシリカパウダーを容器に詰められるだけいっばいに詰めた。

考察(1)-イベント数

この水分を飛ばす工程はpick-off反応を軽減するためのものであり、これを怠ったことでpick-off反応による511KeV周りの反応が多くなってしまったということも考えられる。(しかし、これだけでは低エネルギー領域のイベントが極端に少ないことの直接的な説明にはならない)

また、シリカパウダーの密度によるデータの変化もあるのかもしれない。

考察(2)-pick-off補正関数

1回目の実験におけるpick-off補正関数を求める過程で、 $t=100\text{ns}, 150\text{ns}$ のデータを捨ててフィッティングした。

これに至った主な理由としては、 $N_{a1,3}$ のいずれも線形なデータになっていて、それを用いるとフィッティング関数のパラメータがうまく決まらなかったからというのと、そのデータを省けばどちらも指数関数的な変化になっていたからである。

しかしこれは一見恣意的な選択であるので、この結果に対する信憑性は甚だ疑問となる。この正当化を行う。

考察(2)-pick-off補正関数

pick-off補正関数の式は、

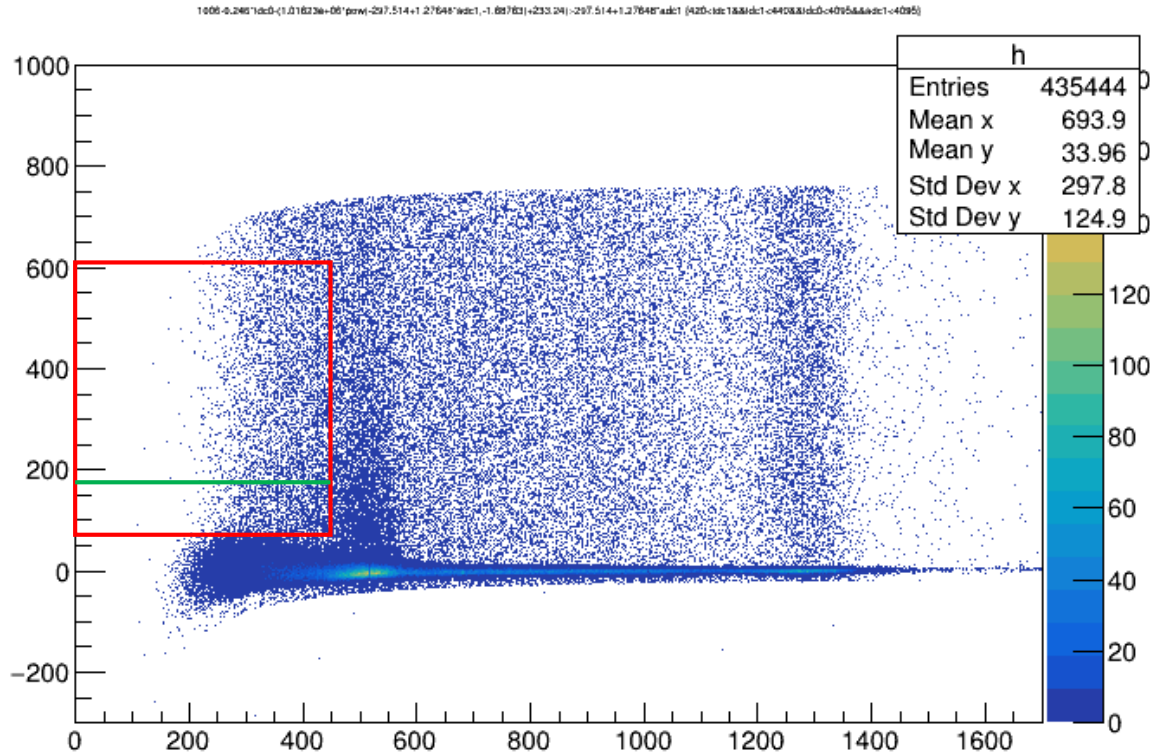
$$g(t) = \frac{y(t)S(0)}{y(0)S(t) - y(t)S(0)} = \frac{1}{\frac{y(0)S(t)}{y(t)S(0)} - 1}$$

となる。ピークの高さはデータの領域の取り方に依存しないので、

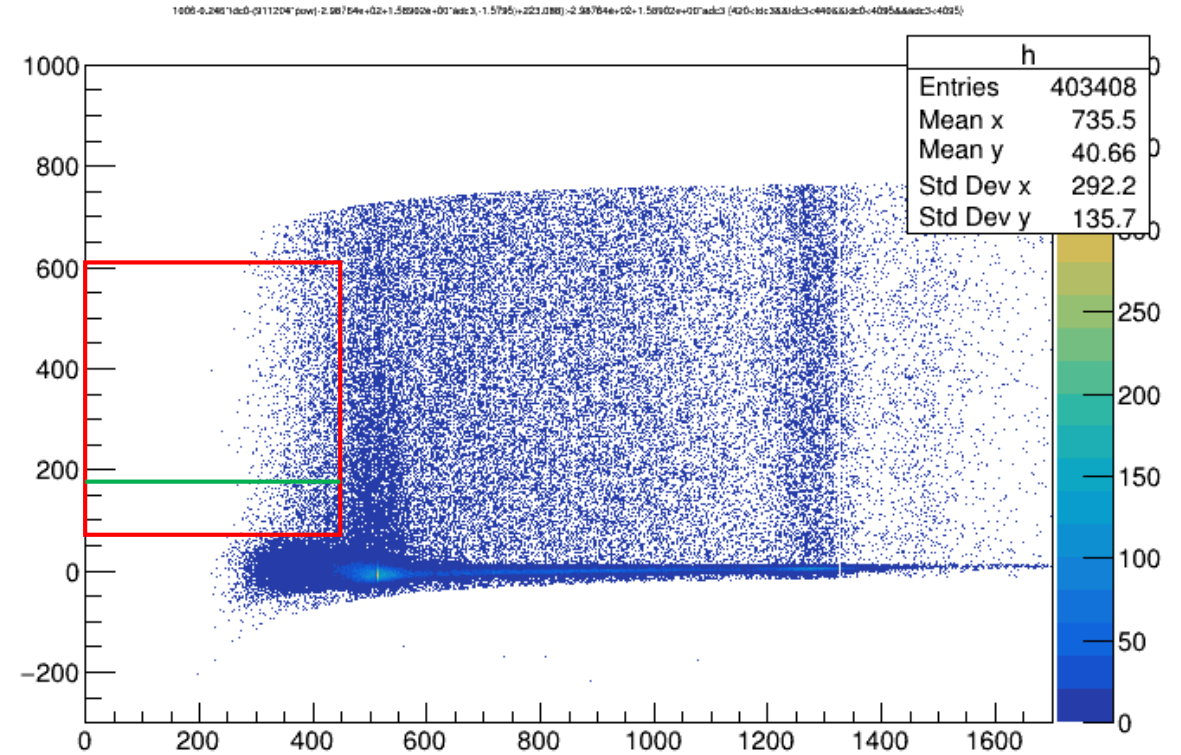
$\frac{S(t)}{S(0)}$ が大きいと補正関数の値は小さくなる。すなわち時刻tにおけるエントリー数が不当に大きいとgが小さくなるということである。こういったことが短時間領域で起こっていると予想される。

ここで今一度TQ補正した後の結果を見てみる。

TQ補正の結果 (前半)



NaI1

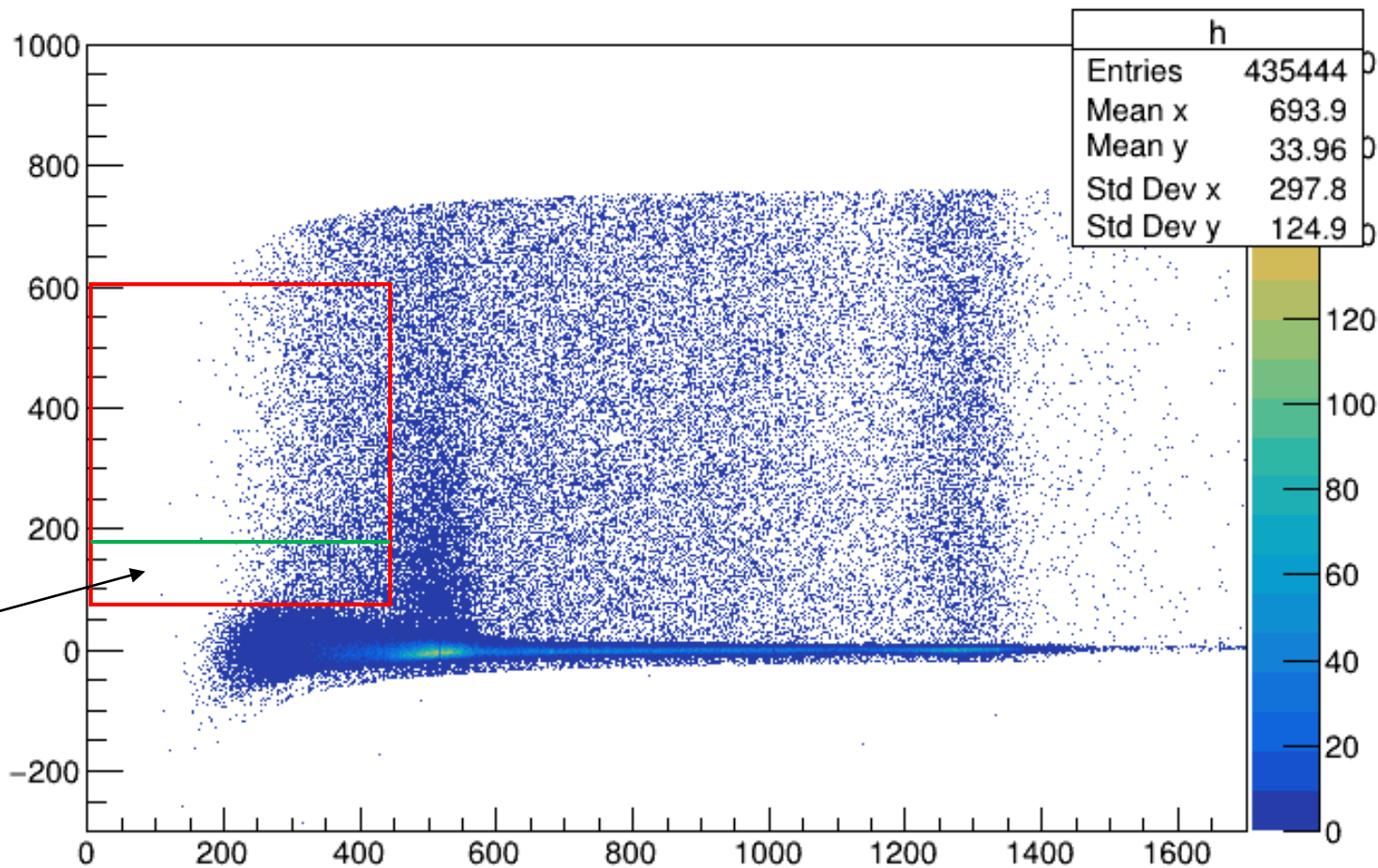


NaI3

赤枠：当初とっていた範囲

緑線：これ以下のデータを切り落とした

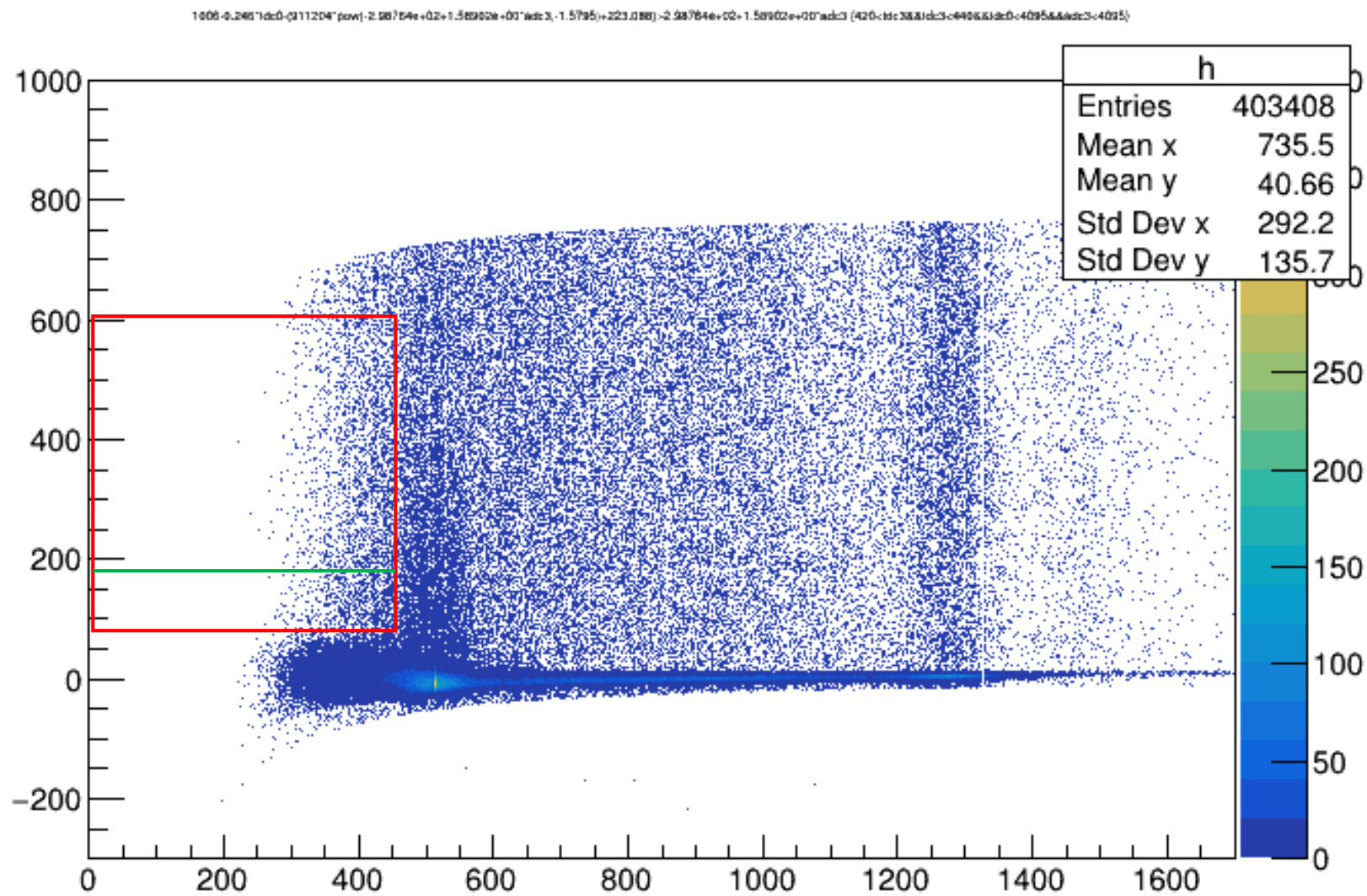
1e08-0.2401e00(-1.01623e+08*prw|-297.514+1.27648*adc1|-1.89763|+233.24|-297.514+1.27648*adc1 (420<ids1&&ids1<440&&ids1<4095&&adc1<4095)



切り落とした部分

Na11

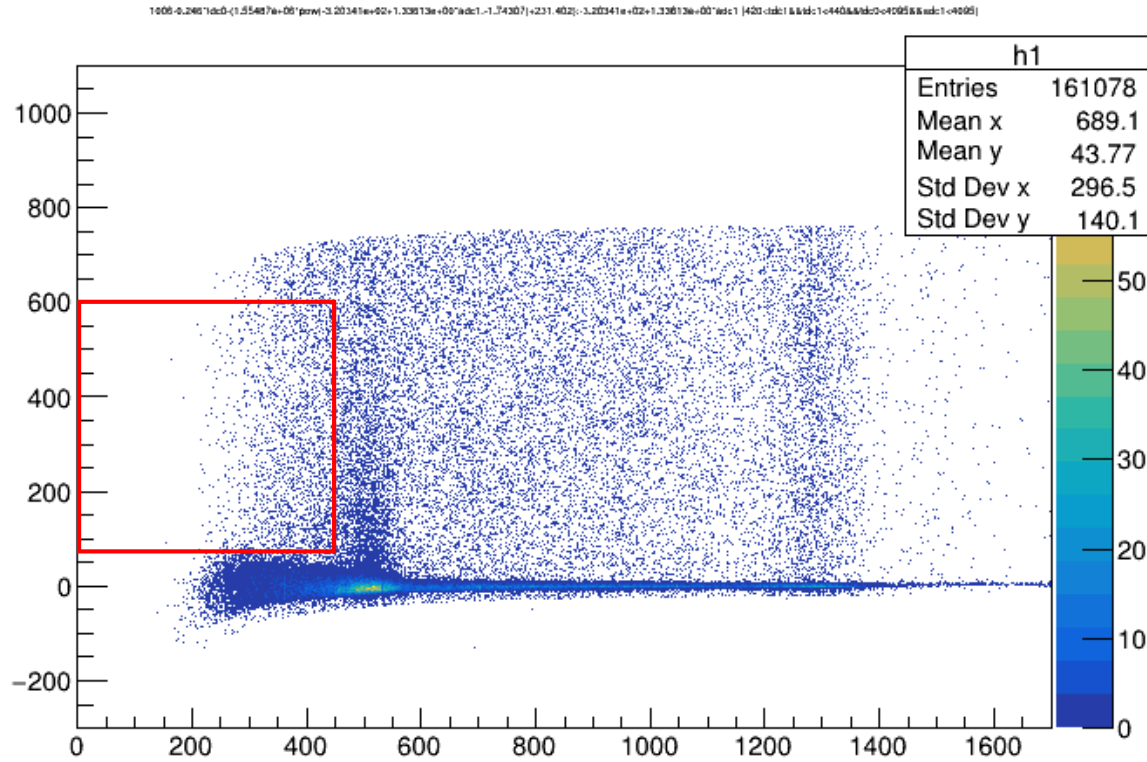
切り落とした部分の一部は511KeVの γ 線や、p-Psの崩壊の影響を含んでいるように見受けられる



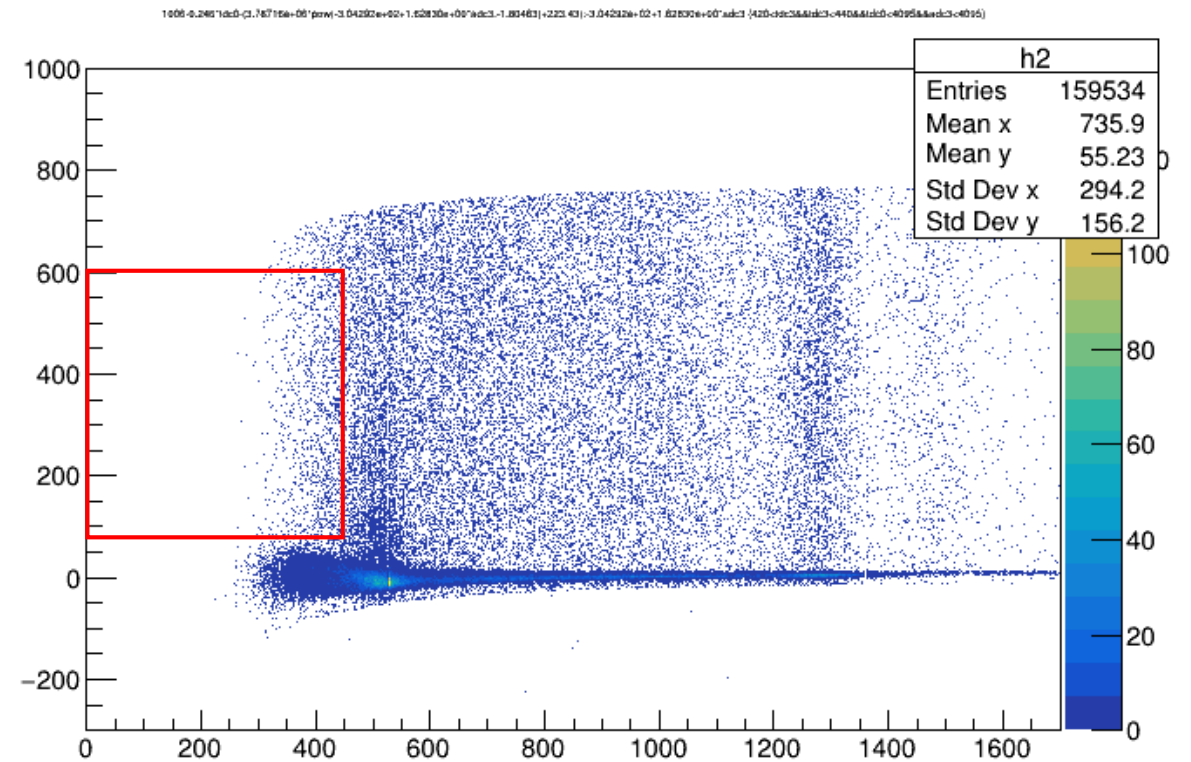
NaI3

切り落とした部分の一部は511KeVの γ 線や、p-Psの崩壊の影響を含んでいるように見受けられる

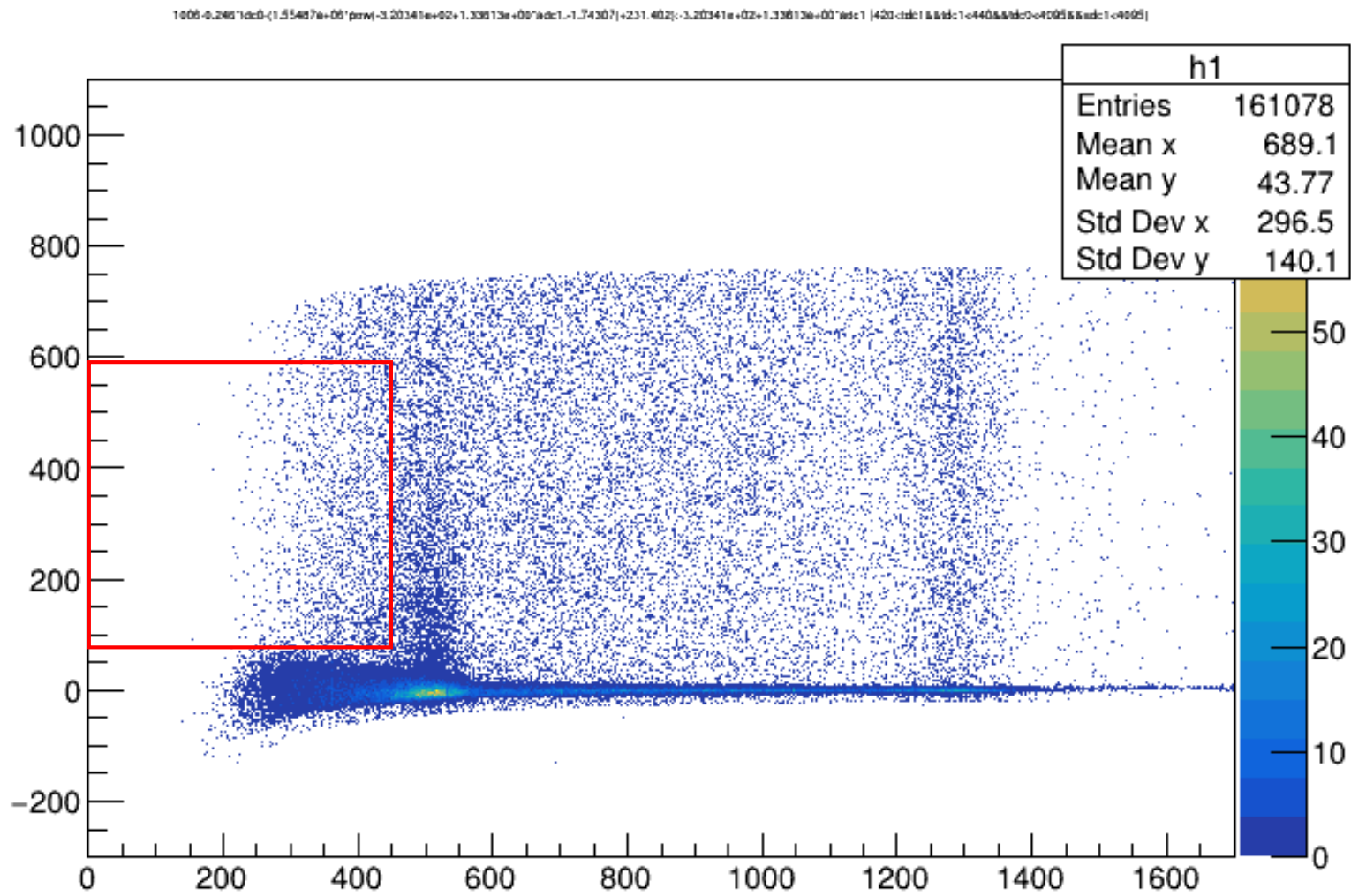
TQ補正の結果 (後半)



NaI1

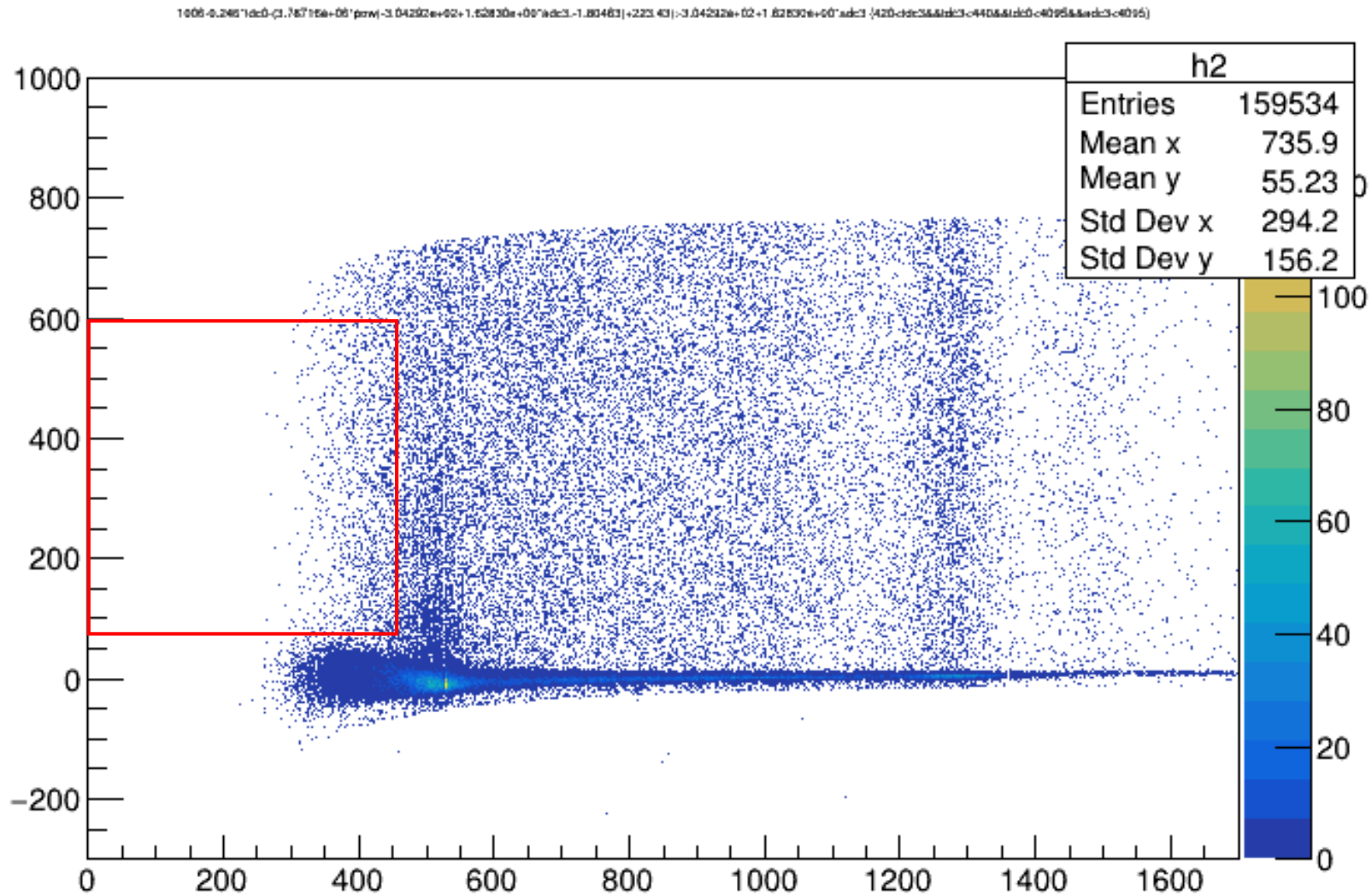


NaI3



Na11

p-Psの崩壊や511KeVの γ 線や、p-Psの崩壊の大きな影響は受けていないように見受けられる



NaI3

p-Psの崩壊や511KeVの γ 線や、p-Psの崩壊の大きな影響は受けていないように見受けられる

考察(2)-pick-off補正関数

1回目の実験ではナトリウムと穴の距離が2回目の実験より近く、それによって直接 γ 線511KeVのエントリー数が多くなっていたことが予想される。

この時のデータでは、511KeV付近のピークで、時間の負の方向に向かって末広がりイベントが分布している。これは2回目の実験でも同様ではあるが、1回目の実験の方がその影響は広域にじんわりと渡っていて、当初とっていた範囲に比較的大きな影響を及ぼしている。

考察(2)-pick-off補正関数

また、 p -Psの崩壊の影響もより広域に及んでいるので、1回目の実験の方がより狭い範囲を取るべきであると言えるであろう。

2回目の実験においては範囲内にそういった大きな影響はほとんどないように見受けられる。

もとよりこの範囲指定は見た目で決定するものであるために、一概にこの範囲は覗くべきというのは言い難いが、以上のような観察から、2回目の実験に対し1回目の実験では比較的低エネルギーもしくはより長時間領域に絞るべきであることはわかる。

考察(3)-全データを用いた寿命の平均

i 番目の測定値 x_i に対し誤差 Δ_i があるとき重み $w_i = \frac{1}{\sigma_i^2}$ を考えると最適値 x は

$$x = \frac{w_i x_i}{\sum w_j}$$

それに対する誤差 Δ は

$$\Delta = \sqrt{\frac{w_i \delta_i^2}{(n-1) \sum w_j}}$$

で与えられる

ここで、 $\delta_i = x_i - x$ である

寿命の実験値導出のための公式導出

加重平均の標準偏差 σ_m は誤差 Δ_i を用いて

$$\sigma_m^2 = \frac{w_i^2 \Delta_i^2}{(\sum w_j)^2}$$

の関係を満たす

その誤差を最小にする重み付けはこれの重みに関する偏微分が0であればよいので、それを計算し比例定数を1として

$$w_i = \frac{1}{\sigma_i^2}$$

となる

考察(3)-全データを用いた寿命の平均

先の式を用いると寿命は

$$158 \pm 9.55 \text{ ns}$$

となった。

参考

過去の課題演習A2の発表資料・レポート